Atomenergie heute

Dr. Hans Michaelis

VERLAG VON R. OLDENBOURG
MÜNCHEN 1966

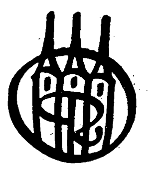
Schriftenreihe des Energiewirtschaftlichen Instituts

Herausgegeben vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität Köln
Direktor: Professor Dr. Theodor Wessels

BAND XIII

Atomenergie heute

Dr. HANS MICHAELIS



VERLAG VON R. OLDENBOURG
MÜNCHEN 1966

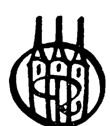
HANS MICHAELIS · Atomenergie heute

HANS MICHAELIS

Atomenergie heute

Mit 7 Abbildungen und 20 Tabellen

VERLAG R. OLDENBOURG MÜNCHEN 1966



Druck: Gebr. Parcus KG, München
Buchbinder: R. Oldenbourg Graphische Betriebe GmbH, München

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist die erweiterte Fassung eines Vortrages, den der Verfasser, Generaldirektor bei der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft, im Rahmen einer Veranstaltung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität Köln am 17. Dezember 1965 gehalten hat. Sie umreißt mit großer Klarheit den gegenwärtigen Stand und die Entwicklungsaussichten der Kernenergietechnik und die Möglichkeiten ihrer wirtschaftlichen Nutzung.
Das Institut glaubt, mit dieser Publikation einen wichtigen Beitrag zu der Diskussion um die künftige Stellung der Kernenergie im Rahmen der gesamten Energieversorgung zu leisten. Da sich die Mitwirkung der Kernenergie an der Deckung des Energiebedarfs auch auf die Sicherheit der Energieversorgung auswirken wird, soll die vorliegende Veröffentlichung auch zu einer Versachlichung der Diskussion um die Versorgungssicherheit beitragen.

Prof. Dr. Theodor Wessels
Direktor des Energiewirtschaftlichen Instituts
an der Universität Köln

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Die dritte Genfer internationale Atomenergiekonferenz im August 1964 und der Frankfurter FORATOM-Kongreß im September 1965 haben deutlich gezeigt, daß *die kommende Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie nicht mehr ernsthaft bezweifelt werden kann.* Indessen ist noch wenig klar, welche Rolle die Kernenergie im Rahmen unserer Energieversorgung zukünftig spielen wird.

Die Erkenntnis, daß die Atomenergie genutzt werden kann, ist noch jung. Ende 1938 gelang es OTTO HAHN und FRITZ STRASSMANN, Kerne des Atoms Uran durch Beschuß mit Neutronen zu spalten und damit bis dahin unvorstellbar starke Energien freizulegen. Schon bald erkannte man, daß damit eine fast unerschöpfliche Quelle der Energieerzeugung erschlossen war: bei der Spaltung von Urankernen werden nämlich zugleich Neutronen frei, die weitere Urankerne spalten und damit eine nukleare Kettenreaktion auslösen können, die in der Form der Atombombe ihren katastrophalen Ausdruck gefunden hat. Daß es aber auch möglich ist, derartige Kettenreaktionen zu zähmen und damit die frei werdende Atomenergie friedlich zu nutzen, zeigte sich, als im Dezember 1942 der erste von ENRICO FERMI gebaute Atomreaktor in Chikago kritisch wurde.

Die Entwicklung der Kernenergie stand zunächst unter ausschließlich militärischer Zielsetzung. Nach dem letzten Kriege setzte sich aber mehr und mehr das Bestreben durch, diese Energie auch für friedliche Zwecke nutzbar zu machen. Dieser Umstellungsprozeß begann in den Vereinigten Staaten. Großbritannien und Frankreich folgten bald. Andere Länder, insbesondere die Bundesrepublik und Italien, konnten bei der Entwicklung ihrer Kernenergie und Kernindustrie nicht auf militärische Fakten zurückgreifen, sondern waren veranlaßt, diese Entwicklung in rein zivilem Rahmen in Gang zu setzen.

Die unterschiedliche Ausgangslage und die Verschiedenheit der Grundsätze der Förderung der Kernenergie und Kernindustrie, insbesondere voneinander abweichende Konzeptionen in bezug auf das Maß staatlicher Einflußnahme auf diese Bereiche führten dazu, daß Mittel und Wege der Förderung der Kernenergie und Kernindustrie von Land zu Land durchaus verschieden sind; das Maß der öffentlichen und privaten Aufwendungen und der erreichte industrielle Entwicklungsstand haben sich danach weitgehend bestimmt.

Der am 1. Januar 1958 in Kraft getretene *Vertrag über die Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft* wurde geschlossen, um die Voraussetzungen für die Entwicklung einer mächtigen Kernindustrie zu schaffen, welche die Energieerzeugung erweitert, die Technik modernisiert und auf zahlreichen anderen Gebieten zum Wohlstand der Völker beiträgt (Präambel). Zur Erfüllung dieser Aufgaben soll die Europäische Atomgemeinschaft die *Forschung* entwickeln und die *Verbreitung der* technischen *Kenntnisse* sicherstellen; sie soll die *Investitionen* erleichtern und, insbesondere durch die Förderung der Initiative der Unternehmen, die Schaffung der wesentlichen Anlagen sicherstellen, die für die Entwicklung der Kernenergie notwendig sind, sie soll für eine regelmäßige und gerechte *Versorgung* mit Kernbrennstoffen Sorge tragen, und sie soll durch die Schaffung eines *Gemeinsamen Marktes* ausgedehnte Absatzmärkte und den Zugang zu den besten technischen Verfahren sicherstellen (Artikel 2).

1. Energiewirtschaftliche Grundlagen

Unter den voraussichtlichen Anwendungen der Kernenergie auf kurze und mittlere Sicht ist allein die Erzeugung von *Elektrizität* in großen Kraftwerken von zur Zeit überschaubarer gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. Gewiß sind auch andere Anwendungen der Kernenergie von Gewicht, wie die Erzeugung und Verwendung von *Radioisotopen*, die schon heute einen weiten Raum einnimmt, und der Wissenschaft und der Technik, vor allem auf den Gebieten der Medizin und der Landwirtschaft neue Wege weist. Der nukleare *Schiffsantrieb* ist in seiner ersten vielversprechenden Entwicklungsphase. Die „Otto Hahn", das erste kernenergiegetriebene Schiff der Europäischen Gemeinschaft, ist im Juli 1964 in Kiel vom Stapel gelaufen. Die Erzeugung von *Wärme* und die *Meerwasserentsalzung* begegnen zunehmendem Interesse. Die Meerwasserentsalzung mittels nuklearer Anlagen wird möglicherweise einmal ähnliche Bedeutung erlangen wie die Stromerzeugung. In fernerer Zukunft liegt die *Direktanwendung* der Kernenergie bei chemischen und metallurgischen Verfahren. Schließlich ist auf die Verwendung der Kernenergie für den Antrieb von *Weltraumraketen* hinzuweisen.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Energie, insbesondere der Einfluß der Energiepreise auf die Kosten, wird häufig unterschätzt, da man nur die in die Kosten der Erzeugnisse unmittelbar eingehenden Aufwendungen für Energie berücksichtigt (Ihr Anteil an den Kosten der Industrieerzeugnisse beträgt im Durchschnitt nur etwa 3—4%). Es ist aber auch die Energie zu berücksichtigen, die in den für die Fertigung benötigten Grundstoffen und Halbfertigerzeugnissen enthalten ist. Dann ergeben sich wesentlich höhere Prozentsätze: über 25% in der Eisen- und Stahlindustrie, 20% in der NE-Metallindustrie, 10—15% in der chemischen Industrie, und in der verarbeitenden Industrie, wie dem Maschinenbau, immerhin noch durchschnittlich etwa 8%.

Im Rahmen des Energieangebotes spielt die Kernenergie zur Zeit noch eine recht bescheidene Rolle. In den zur Europäischen Gemeinschaft zusammengeschlossenen Ländern Deutschland, Frankreich, Italien, Belgien, Niederlande und Luxemburg stellte sie 1965 nur ein Viertel Prozent der Primärenergieerzeugung und nur ein Prozent der Einsatzenergie für die Elektrizitätserzeugung. Doch ihr gehört die Zukunft. Es ist daher zu untersuchen, wie sich die Energielage in der Zukunft entwickeln und welchen Anteil die Kernenergie im Energiean-

gebot haben wird. Eine solche Vorausschaurechnung ist mit mancherlei Unsicherheiten behaftet. Sie ist aber unerläßlich, denn es gilt, eine Orientierung für die Dispositionen der Reaktorbau- und -zulieferindustrie und der Elektrizitätswirtschaft wie auch für die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiete der Kernenergieerzeugung zu geben. Schließlich soll dadurch eine Ausrichtung der Energiepolitik nach wirtschaftlichen Daten ermöglicht werden.

Zwei Datengruppen bestimmen die Entwicklungsaussichten der Kernstromerzeugung: die arten- und größenmäßige Zusammensetzung der Nachfrage nach Energie und die Struktur des zur Deckung dieses Bedarfs zur Verfügung stehenden Energieangebots, insbesondere auch des Angebots an Konkurrenzenergien. Die Entwicklung der Kernenergie muß sich in den energiewirtschaftlichen Rahmen einfügen. Es ist daher geboten, sich eine Vorstellung von der *Lage und den Entwicklungstendenzen der Energiewirtschaft* zu machen.

Die wichtigsten für die wirtschaftliche Entwicklung bestimmenden *Kenngrößen* des vergangenen und des laufenden Dezenniums sind von der Kommission der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft[1]) und bezogen auf die Energie gemeinsam von den 3 Europäischen Exekutiven[2]), der Hohen Behörde der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl, der Kommission der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft und der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft, festgestellt und bekanntgegeben worden. Es sind die folgenden:

	Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs in Prozent			
	1950—1960		1960—1970	
	Gemeinschaft	Deutschland	Gemeinschaft	Deutschland
Bruttosozialprodukt	5,5	7,4	4,7	4,2
Industrieproduktion	7,5	9,1	6,1	5,3
Erwerbspersonen	4,8	1,5	0,6	0,3
Primärenergieverbrauch	4,75	4,8	4,3	3,2

Nach den letzten Feststellungen sind die Zuwachsraten für das laufende Jahrzehnt wahrscheinlich zu niedrig. So hat sich der Primärenergieverbrauch des Gemeinsamen Marktes auch in den 5 abgelaufenen Jahren dieses Jahrzehnts im Jahresdurchschnitt nicht nur um 4,3, sondern um 5,5% erhöht.

Es ist zu erwarten, daß der *Primärenergieverbrauch*[3]) der Gemeinschaft, der 1965 596 Mio. t Steinkohleäquivalent (SKE) betrug (davon entfielen 251 Mio. t oder

[1]) Die Aussichten der Wirtschaftsentwicklung in der EWG 1960—1970.

[2]) Untersuchung über die langfristigen energiewirtschaftlichen Aussichten der Europäischen Gemeinschaft 1962—1964.

[3]) Primärenergie ist die Energie in ihrem natürlichen Zustand vor einer etwaigen Umwandlung: mechanische Wasserkraft, Steinkohle, Rohbraunkohle, Rohöl und Erdgas. Unter Sekundärenergie versteht man dagegen diejenigen Energien, die das Ergebnis einer Umwandlung sind: Kohlengas, Koks, Elektrizität und Erdölerzeugnisse, insbesondere schweres und leichtes Heizöl und Treibstoffe.

42,5% auf die Bundesrepublik), bis 1970 auf etwa 750 Mio. t SKE und bis 1975 auf etwa 910 Mio. t SKE ansteigen wird. Bis 1980 entspricht dies einer durchschnittlichen Jahreszuwachsrate von 3,9%, einer Rate, die nach allen in den letzten Jahren in den Industrieländern gewonnenen Erfahrungen eher zu niedrig als zu hoch sein dürfte.

Die in der Gemeinschaft geförderte *Steinkohle* deckte lange Zeit den weitaus größten Teil des Bedarfs. Vor dem letzten Kriege trug sie noch mit 85—90% zur Versorgung bei; dieser Anteil fällt stetig. 1960 betrug er nur noch etwa die Hälfte, 1965 macht er noch genau ein Drittel des Gesamtbedarfs aus.

Auch in Zukunft wird der Versorgungsanteil weiter zurückgehen. Günstigstenfalls kann die gegenwärtige jährliche Steinkohleförderung der Gemeinschaft (1965) in Höhe von 211 Mio. t[1]) (davon in der Bundesrepublik 135 Mio. t) gehalten werden. Neuere Überlegungen der Hohen Behörde führen zu einer Jahresförderung der Europäischen Gemeinschaft 1970 von etwa 185 Mio. t, d. h. einer Verringerung der Förderung gegenüber 1965 um etwa 25 Mio. t. Man denkt dabei an die folgende Aufgliederung auf die Mitgliedstaaten:

Deutschland	115 Mio. t (SKE)
Frankreich	48 Mio. t (SKE)
Belgien	15 Mio. t (SKE)
Niederlande	9 Mio. t (SKE)

Die zugunsten des europäischen Steinkohlebergbaus von den Regierungen der Mitgliedstaaten ergriffenen vielgestaltigen, miteinander nicht abgestimmten und einer gemeinsamen europäischen Energiepolitik zuwiderlaufenden Schutzmaßnahmen (Zölle, Einfuhrbeschränkungen sowie Steuern und Abgaben auf Konkurrenzenergien) und direkten und indirekten Beihilfen (Subventionen an die Zechen, Zuschüsse zur Sozialversicherung des Bergbaus, Finanzierungserleichterungen, Frachtverbilligungen usw.) müssen, um die für 1970 vorgesehene Jahresförderung zu erreichen, nicht nur aufrechterhalten, sondern sogar verstärkt werden. Bei Fortfall des Schutzes und der Beihilfen wird weniger als die Hälfte der gegenwärtigen Steinkohleförderung wettbewerbsfähig sein; dann wird der Beitrag der heimischen Steinkohle zur Deckung des Energiebedarfs zwischen 1970 und 1975 geringer sein als ein Achtel.

Die beiden anderen wichtigen eigenen Primärenergien, die *Braunkohle* und die *Wasserkraft*, werden zwar weiter ausgebaut werden können, ihr Anteil an der Versorgung wird aber fallen, da die Möglichkeiten der Steigerung der Erzeugungskapazitäten aus wirtschaftlichen Gründen begrenzt sind.

---

[1]) In dieser Rechnung ist die geringerwertige Ballastkohle auf vollwertige Steinkohle (Steinkohleeinheiten — SKE) umgerechnet worden. In der Rechnung Tonne = Tonne ergibt sich eine Förderung von etwa 223 Mio t.

Nur eine heimische Primärenergie, das *Erdgas*, hat Aussicht, ihren Anteil an der Gesamtversorgung zu erhöhen. Gegenwärtig beträgt ihr Anteil 3,5%; er kann bis 1980 auf 10—12%, vielleicht auch darüber hinaus steigen. Zur Zeit ist der Gesamtwärmewert der sicheren Erdgasreserven des Gemeinsamen Marktes allerdings nur etwa dreimal so hoch wie der Gesamtenergieverbrauch der Gemeinschaft 1965.

Das Erdgas wird auch dann, wenn die Suche nach neuen Erdgaslagern im niederländischen und norddeutschen Raum sowie im Nordseeschelf erfolgreich ist, im Rahmen der europäischen Energieversorgung relativ knapp bleiben und keineswegs einen der Lage in den Vereinigten Staaten vergleichbaren Anteil am Primärenergieaufkommen (dort sind es 30%) erreichen. Die Elektrizitätswirtschaft wird nur verhältnismäßig wenig Erdgas verbrauchen, da sie wegen der vergleichsweise günstigen Angebote anderer Einsatzenergien nur einen verhältnismäßig niedrigen Preis für das Gas zu zahlen bereit ist.

Hauptnutznießer dieser Umschichtungen im Energieangebot ist das *Erdöl*. Sein Versorgungsanteil lag vor dem Kriege unter 10%; er erreichte 1965 bereits 47,2% (brutto 54,2% abzüglich Ausfuhrüberschuß bei Raffinerieerzeugnissen von 7,0%). Für die Zukunft ist mit einem Steigen auf über 50%, wahrscheinlich sogar auf über 60% zu rechnen.

Im Jahr 1965 kamen, wie die nachstehende Übersicht zeigt, etwa 49% der in den 6 Ländern der Gemeinschaft verbrauchten Primärenergie aus eigener Erzeugung; netto wurden etwa 51% eingeführt. Diese Einfuhren bestanden und bestehen weiterhin vor allem aus Rohöl. Dieses Rohöl stammt vorwiegend aus den Ländern des Mittleren Ostens und aus Nordafrika, insbesondere Algerien und Libyen (Deutschland 1965: Mittelost 37,2%, Afrika 42,0%). Nach neueren Schätzungen befinden sich allein im Mittleren Osten etwa zwei Drittel der erschlossenen Weltölreserven, die ausreichen, um die Welt während der nächsten 20—30 Jahre zu versorgen.

Die Zielsetzung der *Sicherheit der Energieversorgung* hat in der Energiepolitik unserer Länder neben der Zielsetzung möglichst billiger Versorgung Vorrang. Zur Sicherheit der Versorgung trägt nicht nur eine Verstärkung der Eigenerzeugung, d. h. eine Begrenzung der Einfuhren bei, sondern auch eine zielbewußte Vorratspolitik und eine wohlabgewogene Streuung der Einfuhren nach Herkünften und Arten. Wegen der sinkenden Bedeutung der heimischen Steinkohle und der dadurch bedingten Einfuhrabhängigkeit bei der Energieversorgung sind alle diese Maßnahmen aber nur von beschränkter Wirksamkeit. Das rechtfertigt eine Förderung der Kernenergie als der einzigen weitgehend heimischen Energie, die ein praktisch unbegrenztes Entwicklungspotential aufweist. Der Einsatz der Kernenergie wird die Sicherheit der Energieversorgung auf lange Sicht erhöhen.

Energieversorgung 1965	Gemeinschaft	Deutschland	Gemeinschaft	Deutschland
	In Mio Tonnen SKE		In Prozent	
Eigenerzeugung:				
Steinkohle	212,5	136,0	32,0	49,7
Braunkohle	30,7	28,8	4,6	10,5
Rohöl	22,1	11,3	3,3	4,1
Erdgas	21,0	3,1	3,2	1,1
Primärelektrizität	38,2	5,2	5,8	1,9
	324,5	184,4	48,9	67,3
Nettoeinfuhren[1]):				
Steinkohle, Braunkohle, Koks	26,4	— 12,1	4,0	— 4,4
Rohöl	328,2	84,5	49,5	30,9
Raffinerieerzeugnisse	— 18,1	15,6	— 2,7	5,7
Gas, Elektrizität	2,3	1,4	0,3	0,5
	338,8	89,4	51,1	32,7
Insgesamt	663,3	273,8	100,0	100,0

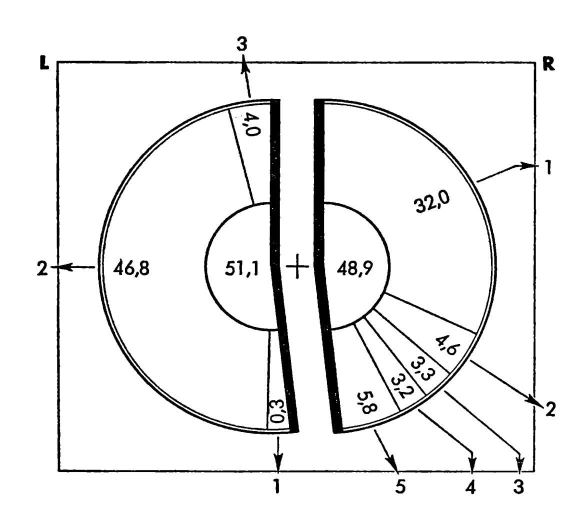


Bild 1. Die Primärenergieversorgung des Gemeinsamen Marktes im Jahr 1965 in Prozenten.

Links: Nettoeinfuhren
1 Gas, Elektrizität
2 Öl
3 Steinkohle, Braunkohle, Koks

Rechts: Eigenerzeugung
1 Steinkohle
2 Braunkohle
3 Rohöl
4 Erdgas
5 Primärelektrizität

[1]) Die Ausfuhren sind abgesetzt.

2. Die Preise für Heizkohle und Heizöl

Die tiefgreifenden Änderungen der Energiemarktlage sind nur zu verstehen, wenn man auch die Entwicklung der Preise in Betracht zieht. Die nachstehenden Ausführungen beschränken sich dabei auf die für die Verfeuerung in Kraftwerken geeignete Heizkohle und das zur Substitution der Heizkohle geeignete schwere Heizöl.

Der Ursprung der Konzeption einer gemeinsamen Kernenergieentwicklung in den 6 Ländern der Europäischen Atomgemeinschaft kann in dem im März 1957 erstatteten Gutachten „*Ziele und Aufgaben für EURATOM*" der „3 Weisen", Louis Armand, Franz Etzel und Francesco Giordani, gesehen werden. Dieses Gutachten fordert, daß in den 6 später zur Europäischen Atomgemeinschaft gehörenden Ländern bis 1967 eine Kernenergiekapazität von 15 000 MWe[1]) installiert werden soll. Durch zügigen Ausbau dieser Ausgangsleistung sollten etwa von diesem Jahr an die Nettoenergieeinfuhren der 6 Länder auf jährlich 170 Mio. t SKE stabilisiert werden (1965 wurden netto bereits 339 Mio. t SKE in den Gemeinsamen Markt eingeführt).

Bei der Beurteilung der Entwicklung des allgemeinen Energiepreisniveaus ist den Gutachtern ein entscheidender Irrtum unterlaufen. Ihrer Analyse legten sie nämlich ein Einfuhrpreisniveau zwischen 72 und 88 DM/t Steinkohle bzw. Heizöl (umgerechnet auf Steinkohleäquivalent) zugrunde. Diese Annahme erwies sich alsbald als falsch. Mit der in den Jahren 1957 und 1958 stattgefundenen Ablösung der Mangellage auf dem Weltenergiemarkt durch eine Überflußlage sanken die Einfuhrpreise beträchtlich. Sie liegen heute zwischen 45 und 55 DM/t SKE, zum Teil sogar noch niedriger.

Das damals allgemein nicht erwartete Sinken des Preisniveaus für Energie wurde übrigens auch dadurch ausgelöst, daß die aufkommende Atomenergie den Ölproduzenten die Hoffnung nahm, ihre Reserven auch noch nach 50 oder 100 Jahren rentabel zu verwerten. Das veranlaßte sie, ihre Angebote über das Maß der Erhöhung der Nachfrage hinaus zu verstärken; das Preisniveau für Energie sank ab und verschlechterte damit auch entscheidend die Aussichten der Kernenergie. Der große Optimismus, der die erste internationale Genfer Atomenergiekonferenz im August 1955 kennzeichnete und die im ganzen doch recht pessimistische Auffassung, welche unmittelbar nach der zweiten internationalen Genfer Atomenergiekonferenz (September 1958) vorherrschte, machen diese Wandlung deutlich. Die Aufnahme der Tätigkeit der Europäischen Atomgemeinschaft stand unter diesem ungünstigen Vorzeichen. Diese Krise war erst überstanden, nach-

[1]) Megawatt (1000 Kilowatt) elektrisch.

dem sich erwiesen hatte, daß die Kernenergie auch bei dem derzeitigen niedrigen Preisniveau für Energie auf dem Weltmarkt reale Aussichten hat, wettbewerbsfähig zu sein.
Stand und Entwicklungstendenzen der Preise für Heizkohle und schweres Heizöl lassen sich wie folgt charakterisieren:
Die Listenpreise ohne Umsatzsteuern für die *im Gemeinsamen Markt geförderte Steinkohle* betragen gegenwärtig 58 DM/t ab Zeche und mehr. Sie ergeben sich aus nachstehender Übersicht. Nicht berücksichtigt sind Mengen- und Treuerabatte und etwaige Nachlässe zur Angleichung an die Preise von Einfuhrbrennstoffen (Artikel 60, letzter Absatz des Montan-Vertrages).

Listenpreise für Fettkohle / gewaschene Feinkohle im Januar 1965[1])

Revier	Flüchtige Bestandteile in Prozent	DM/Tonne ohne Steuern	Umsatzsteuern in Prozent
Ruhr, gewaschene Eß- und Mager-Feinkohle (7000 kcal/kg)	18—30	66,70	4,16
Fettnuß 3/4 (7600 kcal/kg)	18—30	71,50	
Aachen, gewaschene Eß- und Mager-Feinkohle	19	73,00	
Saar, gewaschene Flamm-Feinkohle	33—40	70,00	
Belgien, „fines lavées grasses“	20—28	58,40/61,20	1,00
Nord/Pas-de-Calais, „fines brutes flénus“	18	58,40	11,11
Lothringen, „fines lavées flambant industr.“	36—39	59,00	
Limburg, gewaschene Eß-Feinkohle	20—25	60,20	5,26

[1]) **Aus: Die Konjunktur auf dem Energiesektor der Gemeinschaft, Lage Ende 1965 — Vorausschau 1966. Die Preise haben sich bis März 1966 nicht geändert.**

Auf lange Sicht werden diese Preise eher steigen als fallen. Der Zuwachs der Schichtleistung (Ruhr 1965: 2900 kg je Schicht unter Tage) wird nämlich hinter dem Zuwachs der Lohnkosten zurückbleiben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß zur Zeit die Erlöse des Steinkohlenbergbaues die Förderkosten einschließlich Abschreibungen und Kapitaldienst nur zum Teil decken und daß, insbesondere für die bergbauliche Sozialversicherung (Knappschaft), Beihilfen aus den öffentlichen Haushalten bezahlt werden, die sich je Fördertonne zur Zeit in Deutschland auf 18,40 DM, in Frankreich auf 22,40 DM und in Belgien auf 25,20 DM belaufen.

Die wichtigste, für die Verwendung in Kraftwerken geeignete Einfuhrkohle, die *amerikanische Kesselkohle*, kostet gegenwärtig zwischen 9 und 10 $/t fob amerikanische Ostküste. Die Atlantikfrachten für Einzelreisen liegen bei 28 sh/t (4 $/t) und für langfristige Chartern bei 22 sh/t (3 $/t). Auf dieser Basis ergeben sich Preise cif europäische Häfen (ohne Zoll) zwischen 48 und 56 DM/t. Es ist nicht zu erwarten, aber auch nicht auszuschließen, daß — von Sonderangeboten abgesehen — diese Preise auf kurze oder mittlere Sicht wesentlich fallen werden. Der äußerstenfalls zu erwartende Mindestpreis dürfte 40 DM/t betragen. Allerdings halten amerikanische Kreise (Mr. ADELMANN vom Massachusetts-Institut für Technologie) eine Senkung bis auf 32 DM/t nicht für ausgeschlossen.
Die Preise für *schweres Heizöl* einschließlich Steuern und Abgaben sind von Land zu Land verschieden. Die nachstehende Übersicht der Hohen Behörde ergibt — Antwerpen ausgenommen — Preise einschließlich Abgaben zwischen 72 und 84 DM/t Heizöl (10 000 kcal/kg) oder 50—59 DM/t Steinkohlenäquivalent (SKE) (7000 kcal/kg) und Preise ohne alle Abgaben zwischen 47 und 68 DM/t Heizöl oder 33 und 48 DM/t SKE.

Preise für schweres Heizöl für industrielle Zwecke in DM/Tonne (Dezember 1965 bis Januar 1966)[1]

	Preis einschließlich aller Steuern[2]	Steuer	Preis ohne Steuern
Hamburg (franko)	76—84	30,80[3]	47,20—53,20
München (franko)	80—84	30,80[3]	51,20—53,20
Rotterdam (franko)	72—80	12	60—68
Antwerpen (ab Raffinerie)	62—66	18	44—48
Dünkirchen/Le Havre (ab Raffinerie)	72—76	8,80	63,20—67,20
Mailand (franko)	72—76	20	52—56

[1]) Hohe Behörde der EGKS, Luxemburg: Die Konjunktur im Energiebereich der Gemeinschaft, Lage Ende 1965 — Erste Vorausschau 1966.
[2]) Vor allem wegen der Bedeutung der Rabatte sind die Heizölpreise nur ungenügend bekannt. Die Angaben für die Länder sind auch nicht voll vergleichbar.
[3]) Einschließlich Umsatzausgleichssteuer von 4%.

Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung der Ölpreise ist schwierig. Allgemein wird aber anerkannt, daß das Niveau der Heizölpreise über das Maß etwaiger Steuerermäßigungen hinaus kaum noch sinken wird. Die Energiepolitik der hierfür noch weitgehend verantwortlichen Regierungen der Mitgliedstaaten (Einfuhrkontigentierungen, Heizölsteuern usw.) wie auch die Preispolitik der Ölkonzerne zielen darauf ab, das Preisniveau des Heizöls — umgerechnet auf Steinkohleäquivalent — etwas, aber nicht zu weit unter dem Preisniveau der

Steinkohle sich einspielen zu lassen. Es ist kaum zu erwarten, daß — selbst unter der zur Zeit sicherlich unrealistischen Annahme einer wesentlichen Senkung der Abgaben — das Durchschnittspreisniveau unter 57 DM/t Öl oder 40 DM/t SKE absinkt.
Aus diesen Angaben wird deutlich, daß die in den Revieren der Gemeinschaft geförderte Steinkohle gegenüber den Einfuhrbrennstoffen preislich und was die Kosten betrifft, mehr und mehr in Nachteil gerät.

3. Die Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft

Der Anteil der Primärenergie am endgültigen Energieverbrauch geht ständig zurück. Statt dessen gewinnt die Verwendung von *Sekundärenergie*, insbesondere von Koks, Sekundärgas, raffinierten Erdölerzeugnissen (Treibstoffe, leichtes und schweres Heizöl usw.) und Elektrizität mehr und mehr Raum. Der Anteil der Sekundärenergie am Energieendverbrauch ist seit 1960 von 60% auf über 80% gestiegen. Wegen der Vielseitigkeit der Anwendungsmöglichkeiten und mancher anderer Vorzüge nimmt die *Elektrizität* unter den Sekundärenergien einen hervorragenden Platz ein.
Der *Netto-Elektrizitätsverbrauch*[1]) im Gemeinsamen Markt (ohne den Eigenverbrauch der Kraftwerke), der im vergangenen Jahr 391 Mrd. kWh ausmachte (davon die Bundesrepublik 163 Mrd. kWh oder 41,5%), wird weiterhin schnell steigen. Es ist damit zu rechnen, daß sich dieser Verbrauch auch zukünftig innerhalb von weniger als 10 Jahren verdoppeln wird; dies entspricht einer jährlichen Zuwachsrate von 7,2%. In der seit 1950 verflossenen Zeit war die durchschnittliche jährliche Zuwachsrate sogar 8½%, das entspricht einer Verdopplungszeit von 8½ Jahren. Etwa zwei Drittel des Zuwachses sind dem wirtschaftlichen Wachstum zuzurechnen Das restliche Drittel ist das Ergebnis eines sich fortsetzenden Umstellungsprozesses von anderen Energien auf die vielseitig und ohne Schwierigkeiten verwendbare Elektrizität.
Wir erwarten, daß die *Jahreszuwachsrate* des Stromverbrauchs zwischen 1965 und 1970 7,5%, sodann zwischen 1970 und 1980 6,5% und danach bis zur Jahrhundertwende 6% betragen wird. 1970 wird der Elektrizitätsverbrauch ohne den Eigenverbrauch der Kraftwerke 575 Mrd. kWh ausmachen, er wird 1980 1080 Mrd. kWh — nach neueren Untersuchungen sogar 1200 Mrd. kWh — und am Ende dieses Jahrhunderts 3450 Mrd. kWh erreichen:

[1]) Der Bruttoverbrauch (1965: 416 Mrd. kWh) liegt um etwa 7% über dem Nettoverbrauch. Die Differenz entspricht dem Eigenverbrauch und dem Pumpstrom.

Nettostromerzeugung/Nettostromverbrauch in der Gemeinschaft in Milliarden Kilowattstunden

1950	118
1960	272
1963	339
1964	366
1965	388
1970	575
1975	790
1980	1080
1990	1930
2000	3450

Wenigstens für die Zeit bis 1980 sind diese Voraussagen kaum bestritten, zumal erst um diese Zeit der gegenwärtige *Pro-Kopf-Verbrauch* der Vereinigten Staaten (1963: 5310 kWh) erreicht wird. Aber auch dort rechnet man mit einer Zuwachsrate, die einer Verdoppelung des Verbrauchs in jeweils 10 Jahren entspricht.
Um die Jahrhundertwende wird nach der EURATOM-Schätzung der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an Elektrizität rund 16 000 kWh betragen (1965: Gemeinschaft 2170 kWh, Bundesrepublik 2760 kWh). Nach der für die Vereinigten Staaten von der Federal Power Commission gemachten Vorausschätzung wird dort ein Pro-Kopf-Verbrauch von 28 000 kWh erwartet. Im Vergleich damit ist die EURATOM-Schätzung recht vorsichtig.
Die Aufgliederung der *Nettoerzeugung an Elektrizität* (ohne den Eigenverbrauch der Kraftwerke) auf die 6 Länder der Gemeinschaft ergibt sich aus der folgenden Übersicht:

Land	Nettoerzeugung an Elektrizität 1965 in Milliarden kWh				Voraussichtlicher Zuwachs 1965/66 in Prozent
	herkömmliche Wärmekraftwerke	Kernkraftwerke	Wasserkraftwerke	Gesamt	
Deutschland	145,3	0,11	15,2	160,6	4,9
Frankreich	54,1	0,90	46,4	101,4	8,0
Italien	34,0	3,29	42,5	79,8	7,4
Niederlande	23,7	—	—	23,7	8,8
Belgien	20,1	—	0,3	20,4	4,6
Luxemburg	1,3	—	0,9	2,2	4,6
Gemeinschaft	278,5	4,3	105,3	388,0	6,4

Der Anteil der Bundesrepublik an der Nettostromerzeugung der Gemeinschaft stellt sich somit 1965 auf 41,4%; bei den herkömmlichen Wärmekraftwerken liegt er mit 52,2% hoch, bei den Wasserkraftwerken mit 14,4% dagegen recht niedrig.

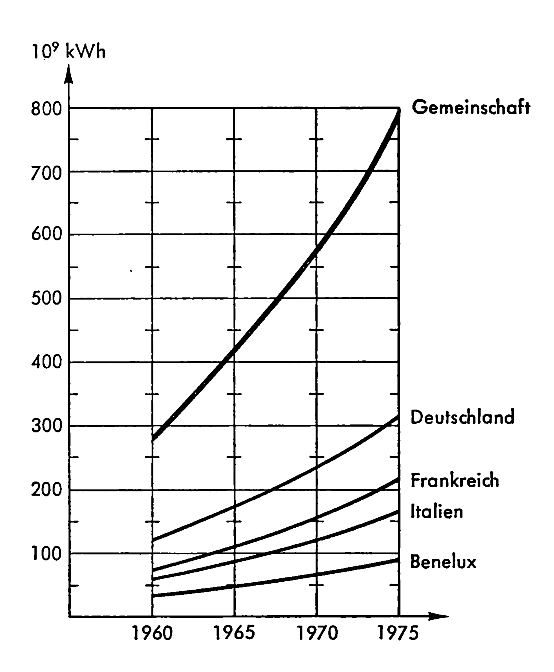


Bild 2. Voraussichtliche Entwicklung des Stromverbrauchs in den Mitgliedstaaten 1960—1975.

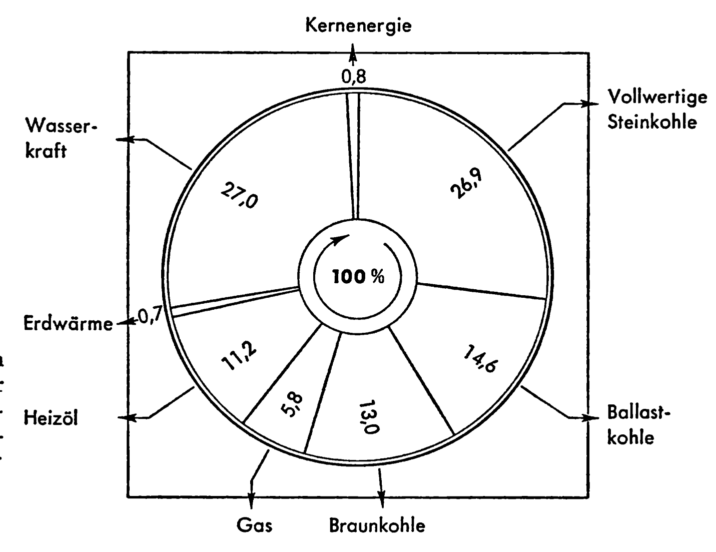


Bild 3. Einsatz von Primärenergien für die Elektrizitätserzeugung der Gemeinschaft im Jahr 1964.

Der *Primärenergieeinsatz für die Stromerzeugung* gliederte sich im Jahr 1964 wie folgt auf (die Zahlen für 1965 sind noch nicht verfügbar, sie sind zudem wegen der hohen Wasserdarbietung anomal):

Primärenergie	Gemeinschaft	Bundesrepublik Deutschland
Vollwertige Steinkohle	26,9%	35,5%
Ballastkohle	14,6%	18,6%
Braunkohle	13,0%	28,8%
Hochofengas und Erdgas	5,8%	3,5%
Heizöl	11,2%	4,2%
Erdwärme[1])	0,7%	—
Wasserkraft[1])	27,0%	9,3%
Atomenergie[1])	0,8%	0,1%

Auch hier ist ein Wandel festzustellen. Wasserkraft, Braunkohle, Hochofengas und Ballastkohle tragen zur Zeit mit etwa 60% zur Stromerzeugung der Gemeinschaft bei. Steinkohle und Heizöl sichern praktisch die restliche Erzeugung; das sind weniger als 40%. Dieses Verhältnis wird sich bis 1975 umkehren, da die Möglichkeiten zum Ausbau der Stromerzeugung aus den in der ersten Gruppe genannten Primärenergien, den sogenannten *privilegierten Primärenergien*, beschränkt sind. Der wesentliche Zuwachs des Strombedarfs wird durch den Einsatz von Steinkohle und Heizöl gedeckt werden; dieser Anteil wird sich innerhalb der nächsten 10 Jahre etwa verdreifachen.

Die Entwicklung der Kernenergie wird die Verwendung dieser Brennstoffe nur wenig mindern. Wir rechnen mit einer Verdoppelung der Stromerzeugung der herkömmlichen Wärmekraftwerke zwischen 1965 und 1980 und möglicherweise sogar mit einer nochmaligen Verdoppelung, d. h. im ganzen mit einer Vervierfachung bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Während der nächsten 15 Jahre wird die Steinkohle bei der Verwendung für die Stromerzeugung vor allem mit dem Heizöl zu kämpfen haben. Von der Atomenergie wird sie nur wenig be- oder gar verdrängt werden.

Im Rahmen einer Energiepolitik, die nach möglichst billiger Versorgung strebt, muß sich die Kernenergie dadurch rechtfertigen, daß sie dem Wettbewerb mit der konventionellen Energieerzeugung standhält. Es gilt daher nachzuweisen, daß der in *Kernkraftwerken* erzeugte Strom auf die Dauer billiger sein wird als der in *Steinkohle- und Ölkraftwerken* erzeugte Strom. Nur die Stromerzeugung aus diesen beiden Primärenergien läßt sich dem Zuwachs der Nachfrage nach Elektrizität entsprechend erhöhen.

[1]) Umgerechnet nach dem Schlüssel 400 g Steinkohle = 1 kWh.

4. Kernkraftwerke

Ein weiteres wichtiges Bestimmungselement für die voraussichtliche Kernenergieentwicklung ist die gegenwärtige Struktur der Kernenergieerzeugung.

Kernkraftwerke nutzen die bei der Spaltung der Kerne von Atomen hoher Ordnungszahl — Uran, Thorium, Plutonium — freiwerdende Energie zur Stromerzeugung. Zahlreiche *Typen von Kernkraftwerken* sind entwickelt worden oder befinden sich in der Entwicklung. Die wichtigsten, gegenwärtig für eine wirtschaftliche Nutzung eingesetzten oder in Entwicklung befindlichen Typen lassen sich gliedern:

— nach dem verwendeten *Brennstoff:*
 Natururan oder schwach angereichertes Uran; Thorium oder Plutonium, und zwar als Metall bzw. Legierung oder als Sinterkörper (Keramik), als Oxyd, Karbid oder ähnlichem;

— nach Art der genutzten *Neutronen:*
 thermische oder schnelle Neutronen (bei Verwendung von Uran als Kernbrennstoff werden thermische Reaktoren als *Konverter* und schnelle Reaktoren als *Brut-Reaktoren* bezeichnet);

— nach dem *Moderator:*
 Graphit, gewöhnliches Wasser, Schwerwasser oder Beryllium;

— nach dem *Kühlmittel:*
 gewöhnliches Wasser (als Siedewasser oder Druckwasser), Schwerwasser, Kohlendioxyd, Helium, Natrium oder organische Kühlmittel.

Unter den verschiedenen Reaktorreihen haben 2 Typen einen Entwicklungsstand erreicht, der es erlaubt, sie als *erprobte Typen* anzusehen. Diese sind:

— die in Großbritannien und Frankreich entwickelten *graphitmoderierten* und *kohledioxydgekühlten Natururan-Reaktoren* (GGR);

— die in den Vereinigten Staaten entwickelten, mit gewöhnlichem Wasser moderierten und gekühlten sogenannten *Leichtwasser-Reaktoren:* sie verwenden schwach angereichertes Uran als Brennstoff. Wir unterscheiden 2 Reihen: die *Druckwasser-Reaktoren* (PWR) und die *Siedewasser-Reaktoren* (BWR).

Natururan setzt sich aus 2 Isotopen zusammen:

 0,71% spaltbares Uran 235;
 99,29% (mit thermischen Neutronen) nicht spaltbares U 238.

Während die Graphit-Gas-Reaktoren das Uran in seiner natürlichen Isotopenzusammensetzung verwenden können, benötigen Leichtwasser-Reaktoren mit Uran 235 auf 2—3% *angereicherten Brennstoff.* Bei der Anreicherung werden unter erheblichem Energieaufwand die geringen physikalischen Unterschiede der beiden Isotope genutzt. Die Erzeugungskapazität der in den Vereinigten Staaten ur-

sprünglich für militärische Zwecke geschaffenen und von der amerikanischen Atomenergie-Kommission (USAEC) betriebenen großen Anreicherungsanlagen (Oak Ridge, Portsmouth und Paducah) reicht aus, um die westliche Welt bis über 1980 hinaus mit angereichertem Uran zu versorgen. Andererseits ist die USAEC in der westlichen Welt der einzige leistungsfähige Lieferant für angereichertes Uran. Die Erzeugungskapazität der britischen Trennanlage in Capenhurst ist sehr viel geringer als die der amerikanischen Anlagen, hat aber Bedeutung für den Markt. Die französische Anlage in Pierrelatte steht noch nicht für zivile Zwecke zur Verfügung.
Bei der Spaltung des Uran 235 freiwerdende schnelle Neutronen vermögen auch Uran 238 zu spalten. Über ein Zwischenprodukt entsteht hierbei das in der Natur nicht vorkommende Element *Plutonium*, das, ebenso wie Uran 235, ein Spaltstoff ist und sowohl im Reaktor selbst genutzt, wie auch nach Wiederaufbereitung der abgebrannten Brennstoffelemente in thermischen (thermische Rezyklage) und schnellen Reaktoren (Brut-Reaktoren) wiederverwendet werden kann.
Beide genannten Reaktorreihen — die Graphit-Gas-Reaktoren und die Leichtwasser-Reaktoren — gelten als *erprobt,* weil die für die Konzeption, den Bau und den Betrieb vorliegenden technischen und wirtschaftlichen Erfahrungen die Konstruktionsfirmen heute weitgehend in die Lage versetzen, *Festpreisangebote* für die schlüsselfertige Einsatzbereitschaft zu machen und auch — allerdings begrenzte — *Garantien* für das technische Betriebsverhalten des Brennstoffs, den Wirkungsgrad, die Nettoleistung, die Stromverfügbarkeit und andere, die Wirtschaftlichkeit bestimmende Elemente anzubieten. Voraussagen über die zukünftigen Stromerzeugungskosten solcher Kernkraftwerke sind daher recht verläßlich.

Das bisher in der Gemeinschaft auf dem Gebiete der Leistungs-Reaktoren Erreichte läßt sich durch folgende Kennzahlen charakterisieren:

In Kernkraftwerken installierte Nettoleistung in MWe

(Februar 1966)	Belgien	Deutschland	Frankreich	Italien	Niederlande	Gemeinschaft
In Betrieb	10	65	355	607	—	1037
Im Bau	133	770	1648	—	52	2603
Zusammen	143	835	2003	607	52	3640
Vor Baubeginn (entschieden)	1200	100	480	600	—	2380
Zusammen	1343	935	2483	1207	52	6020

Demgegenüber beträgt die Nettoengpaßleistung der 6 Länder der Europäischen Gemeinschaft zur Zeit etwa 100 000 MWe (Bundesrepublik etwa 40 000 MWe).

Davon entfallen rund zwei Drittel auf Wärmekraftwerke und ein Drittel auf Wasserkraftwerke.

Übrigens ist die für die gegenwärtige Situation kennzeichnende *Dualität* in der Entwicklung von Reaktoren erprobten Typs aus den im und nach dem Krieg unternommenen Anstrengungen zur militärischen Anwendung der Kernenergie zu erklären:

Das militärische Programm der *Vereinigten Staaten* zielte von Anfang an darauf ab, hochgradig auf Uran 235 angereichertes Uran als Sprengstoff für A-Bomben (Hiroshima) und später als Initialstoff für H-Bomben zu verwenden. Diesem Zwecke diente der im Rahmen des Manhattan-Projektes betriebene Bau einer ersten Isotopen-Trennanlage in Oak Ridge (Tenn.). Die daneben in Hanford (Wash.) betriebene Entwicklung, Plutonium in einem Reaktor zu erzeugen und als Sprengstoff nutzbar zu machen (Nagasaki) hatte nur subsidiäres Interesse. Die im Rahmen dieses Projektes geschaffenen gewaltigen Trennkapazitäten gaben Veranlassung, sich in erster Linie Reaktorkonzepten — den Druck- und Siedewasser-Reaktoren — zuzuwenden, die angereichertes Uran als Brennstoff verwenden.

Demgegenüber konzentrierten *Großbritannien* und etwas später *Frankreich* ihre Anstrengungen auf die Plutonium-Gewinnung (Calder Hall und Marcoule), während die auf militärische Anwendung abzielende Isotopen-Anreicherung erst später aufgenommen wurde (Capenhurst und Pierrelatte). Demgemäß nehmen sowohl das britische wie auch das französische Leistungreaktor-Programm von den plutonogenen Reaktoren ihren Ausgang: Magnox-Reaktor und AGR (Advanced-Gas-Cooled-Reactor) in Großbritannien; Graphit-Gas-Reaktor der EDF-Reihe in Frankreich.

Der Beitrag, den die Kernenergie zur Zeit für die Energieversorgung liefert, ist noch sehr gering. Nur etwa 1% der im vergangenen Jahr in der Europäischen Gemeinschaft erzeugten Elektrizität wurde in Kernkraftwerken erzeugt. In der ganzen Welt sind zur Zeit 62 Kernkraftwerke mit einer nuklearen Leistung von 6500 MWe in Betrieb (davon allein 2700 MWe in Großbritannien, 1500 MWe in den Vereinigten Staaten und 1000 MWe in der Sowjetunion); 32 weitere Kraftwerke mit 8800 MWe Leistung sind im Bau. Einschließlich der Projekte, über die entschieden ist und die vor Baubeginn stehen, ergibt sich eine Gesamtleistung von etwa 30 000 MWe. Diese Leistung wird, wenn sie voll in Betrieb genommen sein wird, etwa 5% des Weltelektrizitätsbedarfs decken.

Die nachstehende Übersicht gibt einige Daten für die in der Europäischen Gemeinschaft betriebenen und in Bau befindlichen Kernkraftwerke:

Die wichtigsten in der Gemeinschaft zur Zeit in Betrieb, im Bau oder in abgeschlossener Planung unmittelbar vor Baubeginn befindlichen Kernkraftwerke

Kernkraftwerk	Land	Standort	Typ[1])	Netto-leistung MWe	kritisch
Antwerpen (EBES)	B	Antwerpen	—	600	1971
Huy (Intercom)	B	Huy	—	600	1972
SENA[2])	F/B	Chooz/Ardennen	PWR	266	1966
EDF 1	F	Chinon (Indre et Loire)	GGR	70	16. 9. 1962
EDF 2	F	idem	GGR	200	18. 8. 1964
EDF 3	F	idem	GGR	480	März 1966
St. Laurent des Eaux 1 (ex EDF 4)	F	St. Laurent des Eaux (Loir et Cher)	GGR	480	1968
St. Laurent des Eaux 2 (ex EDF 4 bis)	F	idem	GGR	480	1970/71
Bugey (ex EDF 5)	F	Bugey (Ain)	GGR	480	1970/71
EL 4	F	Brennilis (Finistère)	SWR	75	1967
KRB[4])	D	Gundremmingen/Donau	BWR	237	1966
KWL[4])	D	Lingen/Ems	BWR	240[3])	1968
KWO[4])	D	Obrigheim/Neckar	PWR	300	1968
MZFR	D	Karlsruhe	SWR	50	29. 10. 1965
KKN (ex AKB)	D	Niederaichbach/Isar	SWR	100	1969/70
Garigliano (ex SENN)	I	Garigliano/Kampanien	BWR	150	5. 6. 1963
Latina (ex SIMEA)	I	Latina/Latium	GGR	200	27. 12. 1962
Enrico Fermi (ex SELNI)	I	Trino Vercellese/Lombardei	PWR	257	21. 6. 1964
GKN (ex SEP)	NL	Doodewaard/Gelderland	BWR	52	1967

[1]) GGR = Graphit-Gas-Reaktor; SWR = Schwerwasser-Reaktor.
[2]) Die SENA ist ein gemeinsames französisch-belgisches Kernkraftwerk.
[3]) 173 nuklear plus 67 konventionelle Überhitzung.
[4]) Der Status eines Gemeinsamen Unternehmens im Sinne des EURATOM-Vertrages ist verliehen oder wurde beantragt.

Die in *Betrieb und im Bau* befindlichen Kernkraftwerke verteilen sich auf die verschiedenen *Typen* wie folgt:

Typ	In Betrieb und im Bau (3640 MWe)	In Betrieb, im Bau und beschlossen[1]) (6020 MWe)
Graphit-Gas-Reaktoren	55%	41%
Leichtwasser-Reaktoren	40%	54%
davon BWR	(17%)	
PWR	(23%)	
Andere Typen, insbesondere schwerwassermoderierte Reaktoren	5%	5%

[1]) Unter der wahrscheinlichen Annahme, daß die beschlossenen Kernkraftprojekte in Belgien und Italien Leichtwasserkraftwerke sein werden.

Aufgeteilt auf die *Länder* der Gemeinschaft ergibt sich folgende Gliederung:

Land	In Betrieb und im Bau	In Betrieb, im Bau und beschlossen
Bundesrepublik Deutschland	23%	16%
Frankreich[1])	55%	41%
Belgien[1])	4%	22%
Italien	17%	20%
Niederlande	1%	—

[1]) Das gemeinsame französisch-belgische Kernkraftwerk SENA wurde den beiden Ländern je zur Hälfte zugerechnet.

Hierbei sind die folgenden Projekte nicht berücksichtigt:

— 2, vielleicht sogar 3 Projekte für den Bau von großen Kernkraftwerken mit einer Leistung von je 600 MWe in Deutschland;

— ein deutsch-schweizerisches Projekt für ein 600-MWe-Kraftwerk;

— der Bau eines deutsch-französischen Gemeinschaftskraftwerks von 480 MWe;

— der weitere Bau von Kernkraftwerken in Frankreich: der fünfte französische Plan sieht einen Baurhythmus von 500 MWe jährlich und zusätzlich eventuell weitere 1500 MWe innerhalb von 5 Jahren vor.

Besondere Beachtung verdienen die Entscheidungen über den Bau von Kernkraftwerken, die in den *Vereinigten Staaten* getroffen worden sind. Hierzu gehören — Stand Ende Februar 1966 — die folgenden Objekte (nur Leichtwasser-Reaktoren):

Bezeichnung (falls noch nicht feststehend: Elektrizitätserzeuger)	Staat	Leistung MWe	Hersteller[2])	Typ	Inbetriebnahme
Erste Generation					
Shippingport	Pa	100	West	PWR	1957
Dresden I	Ill	210	GE	BWR	1960
Yankee	Mass	185	West	PWR	1960
Indian Point I	NY	275	B&W	PWR	1962
Big Rock Point	Mich	75	GE	BWR	1962
Humbold Bay	Cal	70	GE	BWR	1963
Im Bau					
San Onofre	Cal	450	West	PWR	1967
Haddam Neck	Conn	495	West	PWR	1967
Oyster Creek	NJ	640	GE	BWR	1967
Nine Mile Point	NY	620	GE	BWR	1967
„Kontraktiert"					
Malibu Beach	Cal	495	West	PWR	1968
Dresden II	Ill	715	GE	BWR	1969
Brookwood	NY	450	West	PWR	1969
Millstone	Conn	549	GE	BWR	1969
Indian Point II	NY	873	West	PWR	1969
Palisades Pk[1])	Mich	770	CE	PWR	1970
Hartsville[1])	SC	760	West	PWR	1970
Turkey Point III	Fla	760	West	PWR	1970
Lake Michigan[1])	Wisc	454	West	PWR	1970
Dresden III[1])	Ill	800	GE	BWR	1970
(Boston Edison)	Mass	600	GE	BWR	1971
Turkey Point IV	Fla	652	West	PWR	1971
(Maine Yankee)[1])	Me	700	CE		1972

[1]) Allein in den Monaten Januar und Februar 1966 in Auftrag gegeben (über 3400 MWe). 1965 wurden 9 Kernkraftwerke mit etwa 5000 MWe Gesamtleistung in Auftrag gegeben.
[2]) B & W: Babcock & Wilcox; CE: Combustion Engineering; GE: General Electric; West: Westinghouse.

Diese eindrucksvolle Liste, die 23 Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 12 000 MWe umfaßt, ändert sich stetig. Die große Anzahl der in den letzten Monaten kontraktierten Kernkraftprojekte läßt erkennen, daß der Kernenergie in den Vereinigten Staaten der Durchbruch nunmehr offenbar gelungen ist.

In *Großbritannien* sind zur Zeit die folgenden Kernkraftwerke in Betrieb und im Bau:

Bezeichnung	Zahl der Reaktoren	Gesamtleistung	Typ	Kritikalität
Calder Hall	4	180	Magnox	1956/58
Chapelcross	4	180	Magnox	1958/59
Berkeley	2	275	Magnox	1961/62
Bradwell	2	300	Magnox	1961/62
Hinkley Point	2	500	Magnox	1964

Bezeichnung	Zahl der Reaktoren	Gesamt-leistung	Typ	Kritikalität
Hunterston	2	320	Magnox	1963/64
Trawsfynnydd	2	500	Magnox	1964
Dungeness A	2	550	Magnox	1965
Sizewell	2	580	Magnox	1965
Oldbury	2	600	Magnox	1966
Wylfa	2	1180	Magnox	1968/69
Windscale	1	32	AGR	1962
Dungeness B	2	1200	AGR	1970
Winfrith	1	93	SGHW	1967
Dounreay	1	14	Breeder	1959
Dounreay	1	250	Breeder	1971

Die in wenigen Jahren vollständig betriebsbereite Gesamtleistung aller im Rahmen des ersten Programms gebauten Magnox-, d. h. Graphit-Gas-Kraftwerke mit Brennstoffelementen des Typs Magnox (Magnesium-Oxyd) übersteigt 5000 MWe. Das zweite britische Programm sieht in der Zeit von 1970—1975 die Inbetriebnahme von weiteren 5000 MWe Kernkraftleistung vor, wahrscheinlich vom Typ AGR (Advanced Gas-cooled-Reactor, das sind graphitmoderierte und gasgekühlte Reaktoren, die leicht angereichertes Uran als Brennstoff verwenden).

5. Kostenlage und Aussichten der Kostenentwicklung von Kernkraftwerken erprobten Typs

Unsere Kenntnisse über die Kosten und die Wettbewerbsaussichten der Kernenergie stützen sich auf die bekanntgegebenen Preise und Angebotsbedingungen für den Bau von Kernkraftwerken und die voraussehbaren Bedingungen für ihren Betrieb. Die Informationen, über welche die EURATOM-Kommission verfügt, sind reichlich und vielgestaltig:

— Die Europäische Atomgemeinschaft beteiligt sich mit 128 Mio. DM am Bau von 5 Kernkraftwerken mit einer Gesamtnettoleistung von 900 MWe (Garigliano [ex SENN], Latina [ex SIMEA], SENA [Ardennen], KRB [Gundremmingen] und GKN [ex SEP]). Damit will sie den Bau von Kernkraftwerken industriellen Maßstabs fördern und der europäischen Kernindustrie Impulse geben. Die Beteiligungsverträge sehen die Mitteilung und Verbreitung der dabei erlangten Kenntnisse, insbesondere auch der Kostendaten, vor.

— Unter den Bedingungen für die Gewährung des Statuts eines Gemeinsamen Unternehmens nach dem EURATOM-Vertrag, das mehreren Kernkraftwerken gewährt wurde (SENA, KRB, KWL [Lingen] und KWO [Obrigheim — beantragt]), findet sich die Verpflichtung, der EURATOM-Kommission die Kostendaten bekanntzugeben.
— Die Elektrizitätserzeuger, die Kernkraftwerke außerhalb des vorbezeichneten Beteiligungsprogramms bauen und betreiben, insbesondere die Electricité de France, stellen der EURATOM-Kommission ihre Kenntnisse über die Entwicklung der Kosten zur Verfügung.
— Es bestehen Abkommen über die Zusammenarbeit mit der United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA), mit der United States Atomic Energy Commission (USAEC) und der Atomic Energy Canada Limited (AECL). Im Rahmen dieser Abkommen erhält die EURATOM-Kommission Informationen über die Kosten der dort in Betrieb, im Bau oder in der Planung befindlichen Kernkraftwerke. Dies gilt insbesondere für die in das gemeinsame EURATOM-USA-Reaktorprogramm eingeschriebenen Kraftwerke (Garigliano, SENA, KRB).

Insbesondere im Zusammenhang mit der letzten internationalen Genfer Atomenergiekonferenz im August 1964 wächst die Bereitschaft, Daten über die Kosten und die Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken zu veröffentlichen.

Die Entwicklungsaussichten der Kernenergie hängen von den zukünftigen *Stromerzeugungskosten* ab. Die EURATOM-Kommission hat sich im Rahmen der ihr zugewiesenen Aufgaben mit dieser Frage eingehend befaßt. Es galt zunächst, einheitliche *Kostenerrechnungsregeln* festzulegen.

Die Stromerzeugungskosten gliedern sich in 3 Kostenarten:
— die Anlagekosten;
— die Brennstoffkreislaufkosten;
— die Betriebs- und Unterhaltungskosten einschließlich der Kosten für die Versicherung.

Auf folgende Regeln, die bei Kostenrechnungen, insbesondere bei den hier gegebenen Kostendaten stets beachtet wurden, ist hinzuweisen:

Die *Anlagekosten* umfassen sowohl die direkten wie auch die indirekten Kosten. Zu den direkten Kosten rechnen die Konstruktionskosten für den Reaktor, einschließlich Primärkreislauf, Wärmeaustauscher, Moderatorsubstanz und Kühlmittel, nicht aber die erste Brennstoffladung und die Brennstoffreserve. Ferner rechnen zu den Anlagekosten die Kosten für das Gelände, die Aufschließungs- und Bauarbeiten, die Hilfsarbeiten, den Turbogeneratorsatz und die Transformatorenanlagen. Zu den indirekten Anlagekosten zählen die Ingenieurleistungen, die General- und Verwaltungsunkosten, die Bauzinsen bis zur Indienststellung,

etwaige Preissteigerungen bis zu diesem Zeitpunkt, Zölle, indirekte Steuern und Unvorhergesehenes.
Die Anlagekosten werden in *gleichbleibenden Annuitäten* über die voraussichtliche Lebensdauer des Kraftwerks verteilt. Dabei werden angesetzt: ein Zinsfuß von 6—7%, eine den steuerlichen Abschreibungsregeln des betreffenden Landes entsprechende Lebensdauer zwischen 15 und 20, gelegentlich sogar 30 Jahren und, je nachdem, ob die Elektrizitätswirtschaft ertragssteuerpflichtig ist oder nicht, ein Ertragssteuersatz bis zu etwa 4%, bezogen auf die ursprünglichen Anlagekosten. Daraus ergeben sich die folgenden, in die Rechnungen eingehenden Gesamtannuitäten:

— für Frankreich 8,1%
— für Italien und die Niederlande 10 %
— für die Bundesrepublik und Belgien 13 %

Die *Brennstoffkreislaufkosten* entsprechen grundsätzlich den Kosten für das erste Core, und zwar für den Betrieb in der Gleichgewichtslage. Diese Kalkulation vernachlässigt die Mehrkosten im Anlauf, ist aber insofern vorsichtig, als sie die technischen Verbesserungen der dem ersten folgenden Cores außer Betracht läßt. Regelmäßig ist für das *Urankonzentrat* ein Preis von 8 $/engl. Pfund (454 g) oder 70 DM/kg Uranoxyd zugrunde gelegt. Für *angereichertes Uran* gelten die Preise der gegenwärtigen amerikanischen Preisliste. Soweit die USAEC keine Zahlungserleichterungen wie Lease- oder Differed-Payment-Kontrakte gewährt, sind die Kosten auf der Hypothese von Cash-Zahlungen, d. h. nach den Bedingungen der Private Ownership errechnet. Die Möglichkeit, bei Toll-Enrichment-Kontrakten das Natururan billiger als zu den obigen Preisen einzukaufen und der USAEC zur Verfügung zu stellen, sind bei den Errechnungen außer Betracht geblieben.

Ein anderer Kostenparameter ist bei den Auseinandersetzungen über die voraussichtliche Höhe der Kosten weniger umstritten als früher. Heute wird allgemein anerkannt, daß die *jährliche Auslastungszeit* der Kernkraftwerke wegen der niedrigen Brennstoffkreislaufkosten zwischen 6000 und 7000 Stunden liegen wird, Kernkraftwerke im Lastdiagramm also in der Grundlast hinter den Laufwasserwerken, aber vor den Braunkohlekraftwerken, rangieren.
Von Bedeutung für die Beurteilung der Kosten ist auch der *Typ des* zwischen den Elektrizitätserzeugern und dem oder den Lieferern für ein Kernkraftwerk abgeschlossenen *Vertrages*. Das Risiko des Auftraggebers ist bei einem einzigen Vertrag, zumal einem solchen auf Festpreisbasis, geringer als bei mehreren Teilleistungsverträgen. Dabei kommt es insbesondere auf Art und Umfang der vielartigen Garantien und Gewährleistungsverpflichtungen an, die bei den Kontrakten über den Bau von Kernkraftwerken gemacht werden.

Die nachstehende Übersicht gibt die nach den vorstehenden Grundsätzen ermittelten *Stromerzeugungskosten* der wichtigsten in der Gemeinschaft betriebenen oder im Bau befindlichen Kernkraftwerke an:

Kernkraftwerk	GKN[2])	Garigliano	Latina	KRB[1])	KWL[1])	Enrico Fermi	SENA[1])	KWO[1])	EDF3	St.Laurent des Eaux 1	Einheit
Nettoleistung	52,4	150	200	237	240	257	266	283[7])	480[5])	480[5])	MWe
Zeitpunkt der Indienststellung	1968	1963	1963	1966	1968	1964	1966	1968	1966	vor 1970	
Gesamtanlagekosten	107	268	379	261	218,4	286,4	380	271,2	464[6])	428,8[6])	Mio DM
Gesamtanlagekosten	2050	1784	1890	1105	912	1116	1403	968	968[6])	896[6])	DM/kWe
Ausnutzungsfaktor	75	80	80	75	57	80	80	68	80	80	%
Annuität	9,8	10,56	10,56	13,2	10,24	10,56	10	11,4	8,1	8,1	%/Jahr
Kapitalkosten	3,05	2,70	2,84	1,58	1,74	1,68	2,04	1,69	1,11	1,03	Pf/kWh
Brennstoffkosten	1,16	1,31	1,22	0,96	1,27	1,27	1,00	0,97	0,71	0,55	Pf/kWh
Betriebs- und Unterhaltungskosten	0,84	0,48	0,52	0,45	0,52	0,50	0,43	0,50	0,28	0,28	Pf/kWh
Versicherung	0,13	0,13	0,12	0,17	0,30		0,13	0,21	0,17	0,17	Pf/kWh
Stromerzeugungskosten[3])	5,18	4,62	4,70	3,16[4])	3,83[4])	3,45	3,60	3,37	2,27	2,03	Pf/kWh

[1]) Gemeinsame Unternehmen (genehmigt oder beantragt).

[2]) Die mit einer Beteiligung EURATOMs erstellten Kernkraftwerke sind unterstrichen. Die Kraftwerke EDF 1 und EDF 2 sind nicht aufgeführt.

[3]) Wegen der unterschiedlichen Berechnungsparameter wie Leistung, Ausnutzungsfaktor, Kapitalannuität usw. sind diese Stromerzeugungskosten nicht unmittelbar miteinander vergleichbar.

[4]) Diese Kosten verstehen sich ohne Umsatzsteuer.

[5]) Zweites Core.

[6]) Diese Kosten verstehen sich ohne die französische Mehrwertsteuer, die vom Stromendverbraucher bezahlt wird. St. Laurent des Eaux Nr. 2, das Zwillingskraftwerk zu St. Laurent des Eaux Nr. 1, wird geringere Gesamtanlagekosten aufweisen.

[7]) Die Leistung von KWO soll in der endgültigen Auslegung 300 MWe betragen.

Die Kostenangaben in der vorstehenden Übersicht können nicht unmittelbar miteinander verglichen werden, denn sie beruhen auf unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen, sie beziehen sich auf Reaktoren verschiedener *Leistung* und legen voneinander abweichende *Einsatzbedingungen* zugrunde. Insbesondere wirkt sich aus, daß die direkten und indirekten Steuern von Land zu Land verschieden sind. Auch ist zu berücksichtigen, daß in einzelnen Fällen — dies gilt insbesondere für die deutschen Projekte — Festpreisangebote mit weitgehenden Garantien zugrunde liegen, in anderen Fällen — insbesondere bei den französischen Projekten — ist der auftraggebende Elektrizitätserzeuger selbst Architekt-Ingenieur und trägt weitgehend das Betriebsrisiko. Umgerechnet auf einheitliche Normen, weichen die voraussehbaren Stromerzeugungskosten von Reaktoren neuester Konzeption der beiden erprobten Reaktorreihen kaum voneinander ab.

Im einzelnen ist folgendes festzustellen:
Die *Anlagekosten* für Graphit-Gas-Kraftwerke großer Leistung (~ 500 MWe) tendieren nach 800 DM/kWe, die wohl für ein Kraftwerk, das 1970 betriebsbereit sein wird, zu erreichen sind. Für Leichtwasser-Kraftwerke von 600 MWe können Anlagekosten unter 700 DM/kWe, und, wie vorliegende Angebote, insbesondere deutscher Reaktorbauunternehmen zeigen, sogar unter 600 DM/kWe erwartet werden.[1]) Eine kürzlich veröffentlichte, recht vorsichtige Studie der SKW nennt für ein Leichtwasser-Kraftwerk von 600 MWe Gesamtanlagekosten von 630 DM/kWe (Errichtungskosten 470 DM, Nebenkosten des Bauherrn 60 DM und Zinsen und Steuern während der Bauzeit 100 DM)[2]).

Angesichts der erreichbaren hohen Leistungsdichte besteht im übrigen kein Grund, auszuschließen, daß die Anlagekosten von Kernkraftwerken unter die Anlagekosten entsprechender herkömmlicher Wärmekraftwerke (etwa 500 DM/kWe) gesenkt werden können. Das Reaktordruckgefäß eines 300 MWe-Leichtwasser-Kraftwerks beansprucht nur etwa ½% des Volumens des Dampfkessels für ein herkömmliches Wärmekraftwerk gleicher Leistung.

In den *Brennstoffkosten* liegen die Graphit-Gas-Reaktoren günstiger. Bei einem sicherlich erreichbaren Abbrand von 4500 MWT/t Uran[3]) werden sich 0,5 bis 0,6 Pf/kWh ergeben. Für Leichtwasser-Reaktoren werden bei einem Abbrand zwischen 20 000 und 25 000 MWT/t Brennstoffkosten von 0,7—0,8 Pf/kWh erwartet (SKW: vorsichtig gerechnet 0,9 Pf/kWh). Dieser Errechnung liegt ein Preis für Uranoxyd von 8 $/Pfund (tatsächlich zur Zeit für etwa 5 $/Pfund er-

---

[1]) Erklärung von Herrn Prof. Dr. Dr. H. Mandel, Vorstandsmitglied des RWE, Essen, anläßlich des II. FORATOM-Kongresses in Frankfurt am Main, September 1965.

[2]) Bericht: „Wirtschaftliche Stromerzeugung mit Kernkraftwerken großer Leistung" der SKW (Studiengesellschaft für Kernkraftwerke GmbH), Hannover, vom Januar 1966.

[3]) 1 Megawatt-Tag (MWT) = 24 000 Kilowattstunden (kWh).

hältlich) und Lohnanreicherungskosten entsprechend der gegenwärtig geltenden Preisliste der USAEC zugrunde.
Auf Grund dieser Informationen kann erwartet werden, daß Kernkraftwerke großer Leistung, die bis zum Ende dieses Jahrzehnts betriebsbereit werden, die folgenden — übrigens für die beiden Reaktorreihen nicht sehr verschiedenen — *Stromerzeugungskosten* haben werden. Diese Kosten basieren auf den derzeit vorliegenden Angeboten.

Stromerzeugungskosten von Reaktoren erprobter Bauart neuester technischer Konzeption

Jährliche Kapitalkosten in Prozent des investierten Kapitals	6000 Jahresbenutzungsstunden	7000 Jahresbenutzungsstunden
8,1% (Frankreich)	1,9—2,1 Pf/kWh	1,7—1,9 Pf/kWh
10 % (Italien, Niederlande)	2,1—2,3 Pf/kWh	1,9—2,1 Pf/kWh
13 % (Deutschland und Belgien)	2,5—2,7 Pf/kWh	2,2—2,4 Pf/kWh
(SKW: 12,1%)	(SKW: 2,53 Pf/kWh)	(SKW: 2,26 Pf/kWh)

Bei 13% Jahreskapitalkosten (Zinsen, Abschreibungen und Steuern) und 6000 Jahresbenutzungsstunden (69% Auslastung) ergibt sich die folgende typische Stromkostenrechnung für ein Leichtwasserkraftwerk:

Anlagekosten	1,3 Pf/kWh
Brennstoffkreislaufkosten	0,8 Pf/kWh
Betrieb, Unterhalt, Versicherung	0,3 Pf/kWh
Stromerzeugungskosten	2,4 Pf/kWh

Zu diesen Errechnungen ist folgendes zu bemerken: die jährliche *Auslastungszeit* der Kernkraftwerke wird, verglichen mit der Auslastungszeit konventioneller Wärmekraftwerke, ziemlich hoch liegen. Es werden 6000—7000 Stunden erwartet, das entspricht einem Lastfaktor zwischen 69 und 80%. Der Internationale Verband der Elektrizitätserzeuger und -verteiler (UNIPEDE) hält den unteren Grenzwert für realistischer. Die hohe Auslastung beruht darauf, daß die variablen Kosten von Kernkraftwerken gegenüber denjenigen konventioneller Wärmekraftwerke verhältnismäßig niedrig liegen. Im Rahmen eines Verbundnetzes werden die Lastverteiler daher bestrebt sein, in Zeiten niedriger Belastung eher Kernkraftwerke als konventionelle Wärmekraftwerke in Betrieb zu halten.

6. Die Aussichten der Wirtschaftlichkeit von Kernkraftwerken erprobten Typs

Für die Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie ist es erforderlich, die Stromerzeugungskosten von Kernkraftwerken mit denen herkömmlicher Wärmekraftwerke, die Steinkohle oder Heizöl als Brennstoff verwenden, zu vergleichen. Nur die Stromerzeugung aus diesen beiden herkömmlichen Primärenergien läßt sich entsprechend dem Zuwachs der Nachfrage nach Elektrizität erhöhen.

Die 3 Europäischen Exekutiven sind im Rahmen der Zusammenarbeit auf dem Energiegebiet zu den folgenden Annahmen für moderne *Wärmekraftwerke* gelangt, die in ihrem Zuschnitt Kernkraftwerken des letzten technischen Entwicklungsstandes entsprechen:

— die *Investitionskosten* für Steinkohle- und Heizölkraftwerke entsprechender Leistung (~ 600 MWe) werden etwa 500 DM/kWe betragen[1]: die Studie der SKW nennt für Kohlekraftwerke 525 DM/kWe (Gesamtbaukosten 460 DM, Zinsen und Steuern 65 DM) und für Ölkraftwerke 450 DM/kWe (393 DM und 55 DM). Die etwa 15% ausmachende Differenz in den Anlagekosten der Steinkohlekraftwerke und Heizölkraftwerke benachteiligt schon bei gleichhohen Kosten je Wärmekalorie den Einsatz der Steinkohle für die Stromerzeugung.

— als spezifischer *Wärmeverbrauch* für leistungsstarke Wärmekraftwerke können 2100 kcal oder 300 g Steinkohle je kWh angesetzt werden (SKW: 2110 kcal).

Bei der Zugrundelegung dieser Parameter gilt folgendes: Die in Betrieb und im Bau befindlichen Kernkraftwerke werden den Strom noch zu höheren Kosten erzeugen als entsprechende Kohle- oder Ölkraftwerke.

Die Technik entwickelt sich aber weiter. Es ist zu erwarten, daß Kernkraftwerke großer Leistung Strom zu gleichen Kosten liefern werden wie herkömmliche Wärmekraftwerke, die für die von ihnen verwendeten Brennstoffe einen Preis um *37 DM je Tonne Steinkohle oder Steinkohleäquivalent* (SKE) frei Kraftwerk — das entspricht um *50 DM je Tonne Heizöl* — bezahlen.[2] In der recht vorsichtigen

[1] Für das von den Unternehmen des Ruhrkohlenbergbaus geplante „Gemeinschaftskraftwerk West" mit einer Blockleistung von 600 MWe und einer Gesamtleistung von 1200 MWe werden in der Presse Investitionskosten von 700 Mio DM, das sind 582 DM/kWe, angegeben.

[2] Damit ein herkömmliches Wärmekraftwerk bei 13% Kapitalkosten und 6000 Jahresbenutzungsstunden Elektrizität zu den gleichen Kosten erzeugen kann wie das oben charakterisierte Leichtwasserkraftwerk, nämlich zu 2,4 Pf/kWh, muß folgende Rechnung aufgehen:

vorgegebene Stromerzeugungskosten	2,4 Pf/kWh
./. Anlagekosten (500 DM/kWe)	1,1 Pf/kWh
./. Betrieb, Unterhalt	0,2 Pf/kWh
verbleiben für Brennstoffkosten	1,1 Pf/kWh

Bei 2100 kcal/kWh entspricht dies 37 DM/t SKE frei Kraftwerk.

Studie der SKW werden in der Alternative eines Ölkraftwerks 6,00—6,50 DM/Mio. kcal, das entspricht 42—45 DM/SKE, errechnet.

Diese *Äquivalenzpreise* sind mit den oben unter 2. genannten Preisen zu vergleichen, die Wärmekraftwerke heute und zukünftig für die von ihnen verwendeten fossilen Brennstoffe aufzuwenden haben.

Die äußerstenfalls zu erwartenden Senkungen dieser Preise gehen kaum unter das Niveau der heute bereits erreichbaren Äquivalenzpreise hinunter. Kernkraftwerke neuester technischer Konzeption, die etwa 1970 ihren Betrieb aufnehmen können, sind daher gegenüber herkömmlichen Wärmekraftwerken *voll wettbewerbsfähig.* Da die Anlagekosten von Kernkraftwerken nur noch wenig höher liegen als die Anlagekosten von herkömmlichen Wärmekraftwerken, dürfte nun auch die Regel überholt sein, nach der Kernkraftwerke zunächst nur im Grundlastbereich wirtschaftlich einsatzfähig sind.

Die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Entwicklung von Reaktoren erprobten Typs sind indessen keineswegs ausgeschöpft. Die *Weiterentwicklung* zielt in folgenden Richtungen:

— eine Erhöhung der Leistung auf etwa 1000 MWe[1]);
— den Übergang zu Reaktorgefässen aus vorgespanntem Beton, die einen höheren Druck gestatten;
— den Einbau der Dampfabscheider und der Dampftrockenanlage in das Reaktorgefäß;
— eine vollständige Beseitigung des sekundären Dampfkreislaufs, d. h. eine generelle Anwendung des Ein-Kreis-Systems, bei dem der gesamte benötigte Dampf ohne zwischengeschalteten Wärmeaustauscher unmittelbar dem Core entnommen wird;
— die Einführung eines Gehäuses mit Druckabbausystem (Pressure suppression) an Stelle einer druckfest angelegten Sicherheitsumschließung (dome type); diese Verbesserung wird durch die Beseitigung des Sekundärkreislaufes und die Integration der Wasserabscheider mit der Trockenanlage möglich, sie ergibt eine Verringerung des Volumens des Dampfabscheiderteiles und damit eine merkliche Kosteneinsparung;
— bei den Graphit-Gas-Reaktoren: eine Steigerung des Abbrandes durch Verwendung ringförmiger — außen und innen gekühlter — an Stelle röhrenförmiger Brennstoffelemente (éléments annulaires statt éléments tubulaires); die spezifische Leistung kann dadurch gegenüber EDF 1 auf das 3½fache, die

[1]) Die aus der Preisliste der General Electric sich ergebende Degression der spezifischen Anlagekosten im Bereich zwischen 600 und 1000 MWe entspricht dem Exponenten 0,75, d. h. eine Verdoppelung der Leistung führt zu einer Senkung der spezifischen Anlagekosten um 16%.

Kanalleistung sogar auf das 10fache gesteigert werden; ein Abbrandwert von 5000 MWT/t scheint erreichbar;

- bei den Druckwasser-Reaktoren: durch Zonenanreicherung, das Verfahren des chemischen Trimmens und die Einführung intergranulärer Leerräume in den Elementen; 30 000 MWT können erreicht werden;
- bei den Siedewasser-Reaktoren: durch den Übergang zu verbesserten Zirkaloy-Umhüllungen mit dem Ziel einer Erhöhung des kritischen Wärmeflusses und eventuell durch Beimischung von Neutronengiften zum Uranoxyd;
- eine Verringerung der Zahl der erforderlichen Regelstäbe.

Im übrigen wird sich die Möglichkeit der Standardisierung, der Normalisierung und der Serienfertigung kostengünstig auswirken. All das erfordert erhebliche industrielle Anstrengungen. Eine tatkräftige Industriepolitik auf der Ebene der Gemeinschaft und auf nationaler Ebene verspricht beachtliche zusätzliche Erfolge.

Der Übergang zu größeren Leistungen stellt die *Elektrizitätswirtschaft* vor neue Aufgaben. Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind für den alleinigen Betrieb eines Kernkraftwerks vielfach zu klein. Sie sind daher häufig veranlaßt, die Planung, den Bau und Betrieb von Kernkraftwerken gemeinsam mit anderen Unternehmen vorzunehmen, wie das Beispiel des vor kurzer Zeit in Angriff genommenen Baues des Kernkraftwerks Obrigheim am Neckar zeigt; an diesem Projekt arbeiten 11 südwestdeutsche Elektrizitätsversorgungsunternehmen zusammen.
Andererseits erfordert der Bau von Kernkraftwerken großer Leistung den Ausbau der Stromverteilungsnetze und eine stärkere Zusammenarbeit der Elektrizitätserzeuger auch über die Grenzen hinweg. Dazu ist auch notwendig, Konzessionierungsgrundsätze, Demarkationsabsprachen und steuerliche Belastungen zu überprüfen und damit schrittweise zu einander stärker angenäherten Kosten- und Tarifgrundlagen zu gelangen.

Es wurde bemerkt, daß die Anlagekosten für Graphit-Gas-Kraftwerke bis herunter zu 700 DM/kWe sinken werden. Für Leichtwasser-Kraftwerke ist eine Senkung unter 600 DM/kWe möglich. Die Brennstoffkosten werden gleichfalls sinken, so daß fortentwickelte Kernkraftwerke erprobten Typs bei Einsatz in der Grundlast *Stromerzeugungskosten um 2,0 Pf/kWh* aufweisen werden, d. h. Stromerzeugungskosten, die mit denen entsprechend fortentwickelter herkömmlicher Wärmekraftwerke übereinstimmen, die ihren Brennstoff zu 27 DM/t SKE frei Kraftwerk beziehen. Wie vorsichtig diese Prognose ist, ergibt sich daraus, daß in den Vereinigten Staaten für die bereits im Bau befindlichen Großkraftwerke,

insbesondere Oyster Creek, N.J. (1967 in Betrieb), mit einem Äquivalenzpreis unter 30 DM/t SKE gerechnet wird.[1])

7. Langfristige Einsatzmöglichkeiten von Kernkraftwerken erprobten Typs

Im Rahmen ihres *ersten Kernenergie-Programms*[2]) hat die EURATOM-Kommission untersucht, welche Kernenergiekapazität bis zum Jahre 1980 und darüber hinaus bis zur Jahrhundertwende in Betrieb genommen werden sollte und welcher Beitrag die im Rahmen dieses — unverbindlichen — Programmes errichteten Kraftwerke zur Stromerzeugung leisten werden.
Der verhältnismäßig weit entfernte „Horizont" für die langfristige Orientierung — die Jahrhundertwende — wurde aus folgenden Gründen gewählt:

— Ein Programm für die Kernstromerzeugung hat in erster Linie auszusagen, welche Investitionsentscheidungen in den nächsten Jahren getroffen werden sollen. Nach diesem Programm geplante und gebaute Kernkraftwerke und andere nukleare Anlagen werden bis etwa zur Jahrhundertwende in Benutzung bleiben. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen hängt aber ab von den Möglichkeiten des Einsatzes von Kernkraftwerken während dieser langen Nutzungszeit.

— Die finanziell aufwendigsten Forschungs- und Entwicklungsprogramme auf dem Gebiet der Kernenergie richten sich auf Reaktoren, die erst in etwa 10 bis 15 Jahren industriell reif sein werden. Um die Wirtschaftlichkeit dieser Programme beurteilen zu können, müssen Vorstellungen über die langfristigen Einsatzmöglichkeiten der Kernstromerzeugung bestehen.

---

[1]) Im Jahre 1964 hat der amerikanische Kongreß den Präsidenten der American Electric Power Service Corporation, Mr. Philip Sporn, gebeten, sich zu den Entwicklungsmöglichkeiten der Kernenergie in den Vereinigten Staaten gutachtlich zu äußern. Mr. Sporn hatte im Jahre 1962 ein für die Entwicklung der Kernenergie im ganzen negatives Gutachten erstattet. In seinem, unter dem 17. Juli 1964 erstatteten neuen Gutachten stellt er fest, daß sich sowohl die Kostenperspektiven von Kohlekraftwerken wie auch diejenigen von Kernkraftwerken des Typs Leichtwasser seitdem verbessert haben. Die Kostensenkungen seien aber bei den Kernkraftwerken im ganzen wesentlich stärker. Im Ergebnis werden nach Sporn Kernkraftwerke mit einer Leistung von etwa 500 MWe Elektrizität zu den gleichen Kosten erzeugen wie Kohlekraftwerke, die für ihren Brennstoff 27 US-cts./10^6 BTU, das entspricht 30 DM je Tonne SKE franko Kraftwerk, bezahlen. In ihren Gegenäußerungen stellen die maßgeblichen Reaktorbauunternehmen wie auch die amerikanische Atomenergiekommission fest, daß der Äquivalenzpreis eher 23 US-cts./10^6 BTU, das ist 26 DM je Tonne SKE, beträgt.

[2]) Erstes hinweisendes Programm der Europäischen Atomgemeinschaft vom April 1965 (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 28. April 1966) und die dazugehörige Dokumentation: „Lage und Entwicklungstendenzen der Kernenergie in der Europäischen Atomgemeinschaft". Diese Dokumentation wird in Kürze veröffentlicht werden.

Die *Kriterien und Zielsetzungen* für die Entwicklung der Kernenergie sollten übereinstimmen mit denjenigen für die Entwicklung des Gesamtenergiemarktes. Diese Kriterien finden sich — im wesentlichen übereinstimmend — in dem von den 3 Europäischen Exekutiven im Juni 1962 vorgelegten *Memorandum über die Energiepolitik*[1]) und in dem vom Ministerrat der Gemeinschaften am 21. April 1964 verabschiedeten *Protokoll eines Abkommens über Energiefragen*[2]).

Folgende *Entwicklungs- und Auswahlkritiken* wurden der Bestimmung der Ziele des Programms zugrunde gelegt:

— die Versorgung mit Energie soll so billig wie möglich sein;

— die Versorgung mit Energie soll so sicher wie möglich sein;

— die Substitutionen im Energiebereich sollen progressiv erfolgen;

— wirtschaftliche und soziale Spannungen sollen vermieden werden;

— die Energiepolitik soll nicht im Widerspruch zu der allgemeinen Wirtschaftspolitik stehen;

— die nur beschränkt zur Verfügung stehenden, zu wirtschaftlichen Bedingungen abbaubaren Vorräte an fossilen Brennstoffen sollen auf eine möglichst lange Zeit gestreckt werden, damit auch spätere Generationen aus ihnen Nutzen ziehen können.

Das *hinweisende Programm* für die Kernenergieerzeugung der Europäischen Atomgemeinschaft hatte insbesondere auf 2 Fragen eine Antwort gegeben:

— welchen Platz soll die Kernenergie im Rahmen des Gesamtenergieangebots beanspruchen?

— welches ist, unter Berücksichtigung der verschiedenen technischen Möglichkeiten der Kernenergieerzeugung durch Reaktoren, die sinnvollste Orientierung der Kernenergieentwicklung?

Was die *erste* Frage betrifft, so zeigte sich, daß das bereits im Jahr 1960 von der EURATOM-Kommission für das *Jahr 1980* festgelegte Ziel einer nuklearen Leistung von 40 000 MWe aufrechterhalten werden kann. In diesem Jahr werden die Kernkraftwerke 26% des Gesamtstromverbrauchs decken.[3])

Die Summe der *nationalen Voraussagen* erreicht übrigens etwa 60 000 MWe. So erklärte der Staatssekretär im Deutschen Ministerium für Wissenschaftliche Forschung, Herr Cartellieri, am 27. April 1965 vor der Schweizerischen Vereini-

---

[1]) Luxemburg, August 1962.

[2]) Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 30. April 1964.

[3]) Die im Zusammenhang mit der Aufstellung des ersten Kernenergieprogramms für die Gemeinschaft angestellten Untersuchungen über die zukünftige *Beschäftigung* haben gezeigt, daß für 1975 mit insgesamt 120 000 und für 1980 mit insgesamt 210 000 Beschäftigten in den Betrieben der Versorgung mit nuklearen Brennstoffen, der Kernindustrie — einschließlich der hierbei eingesetzten herkömmlichen Techniken (Tiefbau, Metallverarbeitung, Elektroindustrie usw.) — und in den Betrieben der Kernenergieerzeugung zu rechnen ist. Im Bereich der Kernforschung sind in der Gemeinschaft zur Zeit etwa 45 000 Personen beschäftigt. Diese Zahl wird sich in den nächsten 15 Jahren sicherlich erhöhen.

gung für Atomenergie in Bern, die in Deutschland installierte Kernkraftleistung werde 1970 etwa 1500 MWe, 1975 etwa 5000 MWe und 1980 etwa 20 000 MWe betragen. In dem im Namen des französischen Wirtschafts- und Sozialrates im Januar 1965 vorgelegten Bericht „Perspectives et problèmes du développement de l'énergie nucléaire en France" ist als Ziel für 1980 eine Kernenergiekapazität von 17 000 MWe genannt.

Noch vor einigen Jahren erwartete man in den Vereinigten Staaten, daß dort 1980 40 000 MWe Kernenergiekapazität installiert sein werden. Jetzt rechnet man mit 70 000—90 000 MWe.[1])

In Übereinstimmung mit Voraussagen, die bei der letzten Genfer Atomenergiekonferenz gemacht worden sind, rechnet die EURATOM-Kommission für die *Jahrhundertwende* mit einer nuklearen Leistung, die wenigstens der Hälfte der zu diesem Zeitpunkt erwarteten elektrischen Gesamtleistung entspricht. Nach unserer Rechnung ergibt dies eine nukleare Mindestleistung von 370 000 MWe. Zu diesem Zeitpunkt werden wenigstens zwei Drittel des insgesamt erzeugten Stroms Kernstrom sein, denn die nuklearen Anlagen werden höher ausgelastet werden als die konventionellen. Die bis zum Ende dieses Jahrhunderts in Betrieb genommene Kernenergiekapazität wird während ihrer gesamten Einsatzzeit rund 63 Billionen kWh Strom erzeugen.

Die für die Jahrhundertwende erwartete Jahreskernstromerzeugung der Gemeinschaft von 2,4 Billionen kWh liegt weit unter der bei nur wenig größerer Bevölkerung für die USA erwarteten Menge zwischen 4,7 und 10 Billionen kWh. Die EURATOM-Schätzung ist damit verglichen recht vorsichtig.

Um die Jahrhundertwende wird die Kernenergie mit etwa 30% zur Primärenergieversorgung der 6 Länder der Gemeinschaft beitragen; auf die heimischen herkömmlichen Energiequellen werden etwa 20% entfallen, der Rest muß durch Einfuhren bestritten werden. Bei Verzicht auf eine Entwicklung der Kernenergie wird sich die Relation heimische Energie zu Einfuhrenergie auf etwa 25 zu 75 stellen.

	Entwicklung der Kernenergie	
	in 1000 Megawatt Nettoleistung	in Milliarden kWh netto
1965	0,9	4,3
1970	4	28
1975	17	120
1980	40	280
1990	135	920
2000	370	2400

[1]) Der Energieausschuß der OECD erwartet, daß 1980 in der gesamten OECD-Zone (Westeuropa, USA, Kanada, Japan) Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 190 000 MWe installiert sein werden. Von der Gesamtstromerzeugung dieses Jahres von 5900 Mrd. kWh werden nach dieser Voraussage 1330 Mrd. kWh, d. i. etwa 23%, nuklear sein. Eine kanadische Untersuchung rechnet für 1985 mit einer installierten Kernkraftleistung in der Welt von etwa 370 000 MWe.

Gemessen an dem bereits erreichten technischen Entwicklungsstand für Reaktoren erprobten Typs (Graphit-Gas- und Leichtwasser-Reaktoren) sind die Voraussagen des ersten Kernenergieprogramms von EURATOM recht vorsichtig. Die Experten, die bei dem zur Prüfung des Entwurfs des Programms veranstalteten Symposium in Venedig im April 1965 befragt wurden, waren einmütig der Auffassung, daß diese Programmziele eher zu niedrig als zu hoch seien. Auch eine Rechnung, die das Ergebnis einer ökonomischen Optimalisierung ist, führt zu höheren nuklearen Leistungen und Stromerzeugungen.

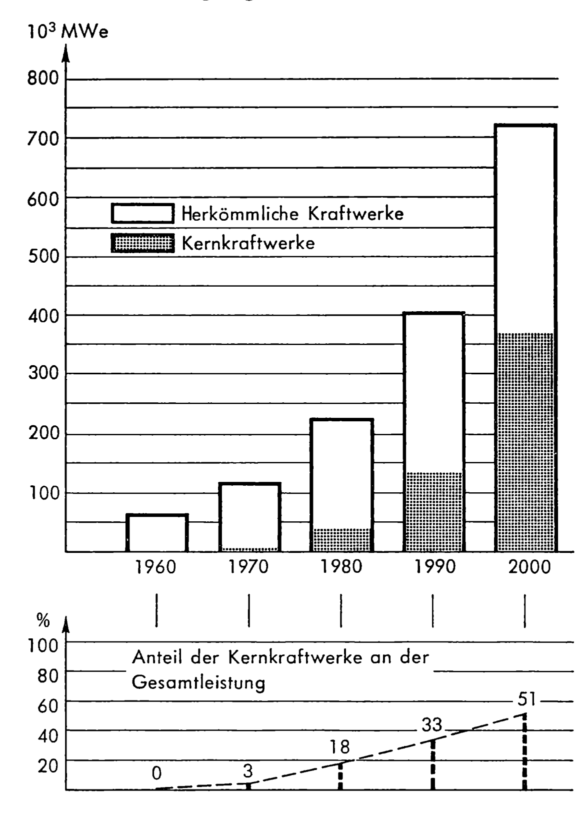


Bild 4. Entwicklung der in der Gemeinschaft installierten elektrischen Leistung.

Man sollte sich aber bewußt sein, daß eine ausschließlich nach wirtschaftlichen Maßstäben orientierte Entwicklung der Kernenergie nicht zu erwarten ist. Dafür gibt es zu viele hemmende Faktoren, so die folgenden:

— ein gegenwärtig sicherlich noch verständliches Zögern der Elektrizitätserzeuger, sich der Kernenergieerzeugung zuzuwenden;

— die Tatsache, daß die Energiepolitik derjenigen Mitgliedstaaten, die über reichliche Kohlevorräte verfügen, darauf abzielt, die gegenwärtige Kohleförderung durch Beihilfen und Schutzmaßnahmen aufrechtzuerhalten oder nicht zu stark absinken zu lassen.

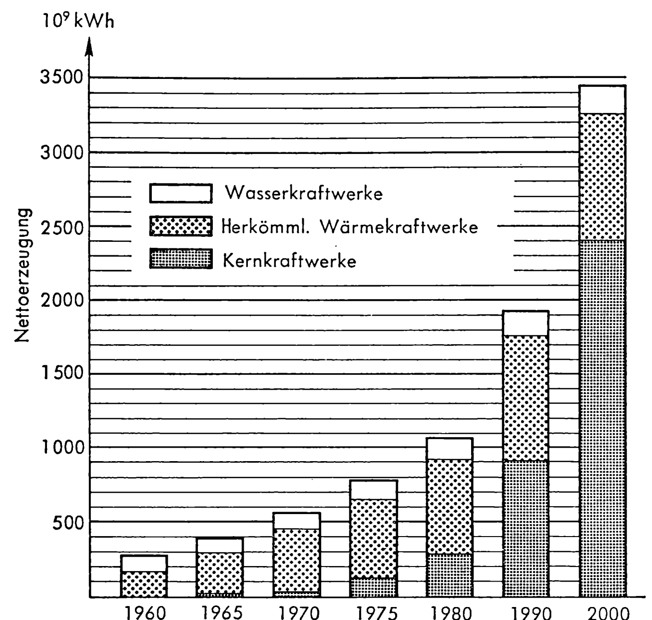


Bild 5. Entwicklung der Stromerzeugung im Gemeinsamen Markt.

Die Entwicklungsmöglichkeiten der Kernenergie in der *Bundesrepublik Deutschland* lassen sich aus der Übersicht auf S. 42 oben ablesen[1]).

Bei einem Nettostromverbrauch der Gemeinschaft im Jahr 1980 von 1200 Mrd. kWh werden in diesem Jahr in Deutschland für die Stromerzeugung zusammengerechnet zwischen 76 und 86 Mio. t Steinkohle und Steinkohleeinheiten Öl eingesetzt werden. Der Verbrauch dieser beiden fossilen Brennstoffe im Jahr 1980 wird sich damit auf das 2,1- bis 2,3fache des 1964er Verbrauchs stellen. Bis 1980 ist daher auch unter der günstigsten Perspektive der Kernstromerzeugung mit einer erheblichen Steigerung — wenigstens einer Verdoppelung — des Einsatzes dieser beiden fossilen Brennstoffe für die Stromerzeugung zu rechnen.

[1]) Vergleiche dazu den Vortrag „Perspektiven der Strombedarfsdeckung in der Bundesrepublik Deutschland in den 70er Jahren", gehalten am 29. April 1965 anläßlich eines Fachgesprächs über „Energieversorung" auf der Messe Hannover von Herrn Prof. Dr. Dr.-Ing. H. MANDEL; abgedruckt in der Zeitschrift ATOMWIRTSCHAFT - ATOMTECHNIK (Verlag Handelsblatt GmbH, Düsseldorf), Jahrgang XI, Nr. 1, Januar 1966.

Bundesrepublik Deutschland:
Einsatz der verschiedenen Primärenergien für die Stromerzeugung in Mio Tonnen SKE pro Jahr

Primärenergien	1964a)	1980 nach MANDEL angenommene Zuwachsrate für Stromverbrauch 6%	8%	1980 nach EURATOM Ziel Gemeinschaft 40 000 MWe	Deutschland 20 000 MWe
Steinkohle (einschl. Importe)	33b)	41	55		
Öl	4	21	34		
Substituierbare Brennstoffe	37	62	89	86	76
Kernenergie	—	35c)	53d)	37e)	47f)
Sonstige (vor allem Braunkohle und Wasserkraft)	25	39	42	40g)	
Insgesamt	62	136	184	163	
Nettoerzeugung der Kraftwerke in Milliarden kWh	153	400	540	480h)	

a) das Jahr 1965 ist wegen der hohen Wasserdarbietung anomal
b) davon 4 Mio Tonnen Importe
c) 15 000 MWe
d) 22 000—25 000 MWe
e) 40% von 40 000 MWe (hinweisendes Programm)
f) 20 000 MWe in Deutschland (CARTELLIERI, Erklärung vom 27. 4. 1965 in Bern, siehe oben)
g) wie MANDEL
h) 40% der nach neueren Untersuchungen für 1980 erwarteten Gesamtstromerzeugung der Gemeinschaft von netto 1200 Mrd. kWh (bis vor kurzem erwartete man nur 1080 Mrd. kWh) — gegenwärtiger Anteil 42%

Um zu prüfen, ob und gegebenenfalls in welchem Maße die Entwicklung der Kernenergie gegenüber einem Stromerzeugungsprogramm, das auf die Verwendung von Kernenergie verzichtet, *Vorteile* bringt, sind die kumulierten Stromerzeugungskosten des ausgewählten Kernenergieprogramms verglichen worden mit den kumulierten Stromerzeugungskosten eines Stromerzeugungsprogramms gleicher Leistung, das stattdessen herkömmliche Wärmekraftwerke einsetzt. Dabei wurden die folgenden alternativen Annahmen über die *Preise frei Kraftwerk* für die zu verwendenden *fossilen Brennstoffe* gemacht:

— ein Preis von *60 DM*/t Steinkohle, der als untere Grenze für die Preise der in der Gemeinschaft geförderten Kesselkohle angesehen werden kann;
— ein Preis von *48 DM*/t Steinkohle oder Steinkohlenäquivalent, der als absichtlich niedrig gewählter Preis in der Reihe der derzeitigen Preise für eingeführte Brennstoffe gelten kann. Es wird angenommen, daß das Mittel der zukünftigen Preise etwa diesem Preisniveau entsprechen wird;

— ein Preis von *40 DM/t* Steinkohle oder Steinkohleäquivalent, der als auf längere Sicht äußerstenfalls zu erwartendes Mindestniveau der Preise für eingeführte Brennstoffe anzusehen ist.

Bei Zugrundelegung des erwarteten mittleren Preisstandes von 48 DM/t wird die Summe der Stromerzeugungskosten aller Kernkraftwerke, die nach dem ersten Kernenergieprogramm von EURATOM bis zum Ende dieses Jahrhunderts in Betrieb genommen werden, um 390 Mrd. DM im absoluten Wert und um *94 Mrd. DM im Barwert*[1]) geringer sein als die Summe der Stromerzeugungskosten eines entsprechenden Programms, das auf den Betrieb von Kernkraftwerken verzichtet. Die *Einsparung* wird bei der ungünstigsten Hypothese — 40 DM/t frei Kraftwerk — 250 Mrd. DM (absoluter Wert) bzw. 53 Mrd. DM (Barwert) und bei Zugrundelegung des niedrigsten Preises für die in der Gemeinschaft geförderte Steinkohle — 60 DM/t frei Kraftwerk — 600 Mrd. DM (absoluter Wert) bzw. 154 Mrd. DM (Barwert) betragen.

8. Fortgeschrittene Reaktoren

Die Reaktoren erprobten Typs, auf die sich die bisherigen Darlegungen bezogen, nutzen nur etwa 1% der Spaltenergie des eingesetzten Urans, das ist im wesentlichen nur die Spaltenergie des Uranisotops 235. Diese Begrenzung rechtfertigt die Entwicklung von Reaktoren mit besseren technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten. Dabei werden insbesondere die folgenden *Ziele* angestrebt:

— eine Verbesserung der *Neutronenökonomie* mit dem Ziel stärkerer Ausnutzung der Spaltenergie des Urans, insbesondere durch Steigerung der Konversionsrate, d. h. Erhöhung der Mengen des im Reaktor selbst genutzten oder wiedergewinnbaren Plutoniums;

— eine Erhöhung der Temperaturen zur Verbesserung des *thermischen Wirkungsgrades;*

— die Möglichkeit, *Thorium* an Stelle von oder zusammen mit Uran zu verwenden.

Unter den *fortgeschrittenen Konvertern*, die vielerorts entwickelt und auch schon gebaut werden, sind — abgesehen von den weiter unten behandelten schwerwassermoderierten Reaktoren und gasgekühlten Hochtemperatur-Reaktoren — insbesondere die folgenden Entwicklungen erfolgversprechend:

— Die *fortgeschrittenen Gas-Reaktoren*, insbesondere der in Windscale in Großbritannien entwickelte Advanced Gas-Cooled-Reaktor (AGR), der als Kern-

[1]) Für die Barwertrechnung wurde als langfristiger Zinsfuß ein Satz von 4% angesetzt. Dieser Satz entspricht dem derzeitigen tatsächlichen Zinssatz für langfristige Anlagen (6—7%), vermindert um die durchschnittliche jährliche Preissteigerung (2—3%), denn die Preis- und Kostenannahmen des Kernenergieprogramms von EURATOM beruhen auf der Hypothese eines langfristig stabilen Gesamtpreisniveaus.

brennstoff angereichertes Uran in Oxydform in Stahlumhüllung und — ebenso wie der Graphit-Gas-Reaktor (Magnox-Reaktor), aus dem er entwickelt wurde — als Moderator Graphit und als Kühlmittel Kohlendioxyd verwendet. Der British Central Electricity Generating Board (CEGB) hat bekanntlich im Sommer 1965 auf Grund einer Ausschreibung entschieden, das Kernkraftwerk Dungeness B (1200 MWe, 1970 betriebsbereit) als AGR zu bauen. Im Rahmen des von 1970—1975 laufenden zweiten britischen 5000 MWe-Kernkraftprogrammes werden sicherlich vorwiegend Kraftwerke des Typs AGR gebaut werden[1]).

— *Die Natrium-Graphit-Reaktoren* (SGR) und zirkonhydridmoderierten Reaktoren mit Natrium-Kühlung. Diese werden vor allem von Atomics International in den Vereinigten Staaten und in der Europäischen Gemeinschaft von Interatom in Bensberg bei Köln entwickelt. Es handelt sich dabei um eine kompakte natriumgekühlte Kernkraftanlage (KNK) von 20 MWe in Karlsruhe, die voraussichtlich 1968/69 kritisch wird. Die deutsche Entwicklung hat insbesondere im Zusammenhang mit den Programmen zur Entwicklung eines natriumgekühlten Brut-Reaktors (siehe unten) Interesse.

— *Die Brutmantel-Reaktoren* (Seed-and-Blanket-Reaktoren): Diese Entwicklung ist auf die Vereinigten Staaten beschränkt.

— *Die Reaktoren mit veränderlicher Moderierung* durch gewöhnliches und schweres Wasser (Spectral-Shift-Reaktoren): Erwähnt seien das Reaktorprojekt Vulcain in Belgien und die Arbeiten von Babcock & Wilcox in den Vereinigten Staaten.

— Die Leichtwasser-Reaktoren *mit nuklearer Überhitzung:* Hinzuweisen ist auf den 58-MWe-Pathfirder-Reaktor in den Vereinigten Staaten und auf die Heißdampf-Reaktor-Entwicklung der AEG, die den inzwischen begonnenen Bau eines 25-MWe-Heißdampf-Reaktors (HDR) in Großwelzheim/Kahl am Main (voraussichtlich 1968 kritisch) einschließt.

Für die Europäische Gemeinschaft ist vor allem die Schwerwasserentwicklung von Interesse. *Schwerwassermoderierte Reaktoren* können mit natürlichem Uran betrieben werden, obwohl die Verwendung von leicht angereichertem Uran offenbar zu günstigeren Kosten führt; sie weisen zudem einen besonders niedrigen spezifischen Brennstoffverbrauch auf. Wegen der verhältnismäßig kompakten Bau-

[1]) Der CEGB hat nach Prüfung der Ausschreibungsergebnisse im Sommer 1965 bekanntgegeben, der ausgewählte AGR-Typ sei in den voraussichtlichen Stromerzeugungskosten um etwa 10% günstiger als der beste angebotene Reaktor des Leichtwassertyps. Diese Feststellung läßt sich auf die Länder der Gemeinschaft nicht ohne weiteres übertragen. So ist zu berücksichtigen, daß die Gesamtanlagekosten des im britischen Angebot genannten Leichtwasser-Reaktors von etwa 1000 MWe über 760 DM/kWe betragen, während in der Gemeinschaft Leichtwasser-Kraftwerke mit geringerer Leistung (etwa 600 MWe) schon für etwa 600 DM/kWe angeboten werden. Vergleiche im übrigen die in der Darstellung der schwerwassermoderierten Reaktoren aufgeführten Kostenvergleiche.

weise und wegen der billigen Strukturmaterialien sind niedrige Anlagekosten zu erwarten.

Die zur Zeit betriebenen Entwicklungen schwerwassermoderierter Reaktoren unterschieden sich vor allem hinsichtlich der *Kühlung*. Von Interesse sind:

— Die Kühlung mit *Schwerwasser*, mit der sich vor allem Kanada (Projekt CANDU Douglas Point, 200 MWe, 1965 in Betrieb und Ontario Hydro, 4 Einheiten zu je 450 MWe, Inbetriebnahme 1970), Schweden (Marviken, 200 MWe und BHWR/PHWR-Konzept, 500 MWe), Deutschland (MZFR [Mehrzweckforschungsreaktor], Karlsruhe, 50 MWe, kritisch 29. 10. 1965) und die Europäische Kernenergie-Agentur (Projekt Halden in Norwegen) befassen.

— Die Kühlung mit *gewöhnlichem Wasser* in Form von Siedewasser oder Naßdampfnebel, die die Grundlage von Entwicklungen in den Vereinigten Staaten, in Kanada, Großbritannien (SGHWR Steam-Generating-Heavy-Water-Reaktor), in Italien (CIRENE, unter EURATOM-Beteiligung) und in Japan bildet.

— Die Kühlung mit *Kohlendioxyd*, die sowohl in Frankreich (das von der EDF in Brennilis, Department Finistère, errichtete 80 MWe-Kraftwerk EL 4, kritisch 1967) als auch in Deutschland (Siemens Projekt AKB [Atomkraft Bayern], jetzt KKN [Kernkraftwerk Niederaichbach] für das 100 MWe-Kernkraftwerk in Niederaichbach an der Isar, kritisch 1970) entwickelt wird. Diese Art der Kühlung liegt auch dem Konzept des von der Nationalen Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA) gebauten ersten Schweizer Versuchs-Atomkraftwerks in Lucens im Kanton Waadt zugrunde.

— Die Kühlung mit *organischer Flüssigkeit*, einem Polyphenyl-Gemisch, die im Rahmen des Projektes ORGEL (Réacteur ORGanique Eau Lourde) von der Gemeinsamen Forschungsstelle von EURATOM in Ispra/Italien entwickelt wird, aber auch einen Schwerpunkt des Reaktorförderungsprogramms der USAEC (HWOCR — Heavy-Water-Organic-Cooled-Reaktor) darstellt. Auch Dänemark (Projekt DOR), Spanien (Projekt DON) und die UdSSR befassen sich mit diesem Typ. Im revidierten zweiten Fünfjahresprogramm von EURATOM (1963—1968) beansprucht die Forschung und Entwicklung des ORGEL-Reaktors einen wesentlichen Teil der mit 352,4 Mio. DM dotierten allgemeinen Tätigkeit des Zentrums Ispra (etwa 19% der Gesamtmittelzuweisung nach dem zweiten Fünfjahresprogramm). Für das eigentliche ORGEL-Projekt sind in diesem Programm 256 Mio. DM bereitgestellt (etwa 14% der Mittel). Das ORGEL-Projekt, dessen Stufen die kritische Anordnung ECO (Expérience Critique Orgel) und der kritische Versuchsreaktor ESSOR (ESSais ORgel) sind, soll so weit entwickelt werden, bis es den Interessenten möglich ist, sich für diesen Typ zu entscheiden. Der Bau eines

Prototyps industrieller Größe wird erwogen; dieser könnte um 1975 betriebsbereit sein. Untersuchungen anläßlich des ORGEL-Kolloquiums im Oktober 1965 in Ispra haben gezeigt, daß die Stromerzeugungskosten eines ORGEL-Reaktors von industrieller Größe sicherlich nicht höher, möglicherweise aber nicht unwesentlich niedriger sind als die anderer Schwerwasservarianten. Der spezifische Vorteil liegt in der Verwendung von Urankarbid, das sich insbesondere bei Anreicherung kostengünstig auswirkt.

Die nachfolgende Übersicht vergleicht *charakteristische Kostendaten* schwerwassermoderierter Kraftwerke mit solchen herkömmlicher Kraftwerke und nukleare Kraftwerke erprobten Typs:

Charakteristische Kostendaten verschiedener Kraftwerkstypen, 13% Jahresannuität, 7000 Jahresbenutzungsstunden

Kostenart	Einheit	Schwerwasser mit leicht angereichertem Uran	AGR Dungeness B	BWR PWR	Graphit-Gas EDF 4	herkömmliche Wärmekraftwerke
	MWe	500	600	600	480	500
Gesamtanlagekosten des Reaktors und konv. Teils	DM/kWe	640	880	600	890	500
Kosten des ersten Cores	DM/kWe	40	170	230	140	30
Insgesamt	DM/kWe	680	1050	830	1030	530
Anlagekosten	Pf/kWh	1,18	1,62	1,11	1,64	0,93
Brennstoffkosten	Pf/kWh	0,28	0,74	0,86	0,65	1,61[1])
Betrieb, Unterhalt	Pf/kWh	0,34	0,15	0,28	0,28	0,23
Stromkosten	Pf/kWh	1,80	2,51	2,25	2,53	2,77
BWR/PWR = 100		80	112	100	113	123

[1]) Bei einem Brennstoffeinstandspreis von 48 DM/t SKE; bei 40 DM ergeben sich 2,4 Pf (Index 107), bei 60 DM 3,17 Pf (Index 141) und bei 70 DM (Ruhrkohle) 3,56 Pf (Index 157).

Die Übersicht zeigt, daß die Anlagekosten eines Schwerwasser-Kraftwerks, das leicht angereichertes Uran verwendet, denen eines Leichtwasser-Kraftwerks etwa entsprechen, aber wesentlich niedriger sind als die eines Kraftwerks vom Typ Graphit-Gas oder AGR. Die Brennstoffkreislaufkosten eines Schwerwasser-Kraftwerks liegen um wenigstens 0,3 Pf/kWh niedriger als die der übrigen in Betracht gezogenen Typen. Schwerwassermoderierte Kraftwerke haben somit offenbar ein um rund 20% günstigeres Kostenpotential als Kraftwerke erprobter Bauart.

Die andere für die Europäische Gemeinschaft, aber auch für Großbritannien und die Vereinigten Staaten (Peach-Bottom) interessante Entwicklungslinie ist die des *gasgekühlten Hochtemperatur-Reaktors*, den wegen der erreichbaren hohen Dampftemperaturen ein besonders hoher thermischer Wirkungsgrad (über 40%), eine hohe Leistungsdichte, eine hervorragende Neutronenökonomie und niedrige Anlagekosten auszeichnen. Dieser Reaktortyp gestattet in besonderem Maße den Übergang zu Thorium als Brennstoff.

Folgende Projekte verdienen Hervorhebung:
— Der von der Europäischen Kernenergie-Agentur unter maßgeblicher Beteiligung der EURATOM gebaute, am 23. April 1964 kritisch gewordene Versuchsreaktor DRAGON in Winfrith-Heath/Großbritannien; an einem 500 MWe-Vorprojekt wird gearbeitet.
— Der in Jülich (Rheinland) von der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor-GmbH (AVR) zusammen mit der Gruppe BBC-Krupp unter Beteiligung von EURATOM gebaute 15 MWe-Kugelhaufenreaktor (Schulten-Reaktor), voraussichtlich 1966 kritisch; ein leistungsstarker Prototyp, der Thorium-Hochtemperatur-Reaktor (THTR) wird geplant.

Das revidierte zweite Fünfjahresprogramm von EURATOM sieht für diese Reaktorentwicklung 122 Mio. DM vor (etwa 7% der Mittel). Dieser Entwicklung dient auch ein Teil der mit 118 Mio. DM (etwa 6% der Mittel) dotierten EURATOM-Forschungsstelle Petten in den Niederlanden.
Es ist in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse, festzustellen, daß auch die *Amerikanische Atomenergie-Kommission* (USAEC) den nach dem ersten Kernenergieprogramm der Europäischen Atomgemeinschaft bevorrechtigten und bevorzugten Entwicklungen der schwerwassermoderierten und den Hochtemperatur-Reaktoren Priorität einräumt. Unter den schwerwassermoderierten Reaktoren hat dabei die Kühlung mit organischer Flüssigkeit Vorrang. Der Präsident der USAEC, Mr. Glenn T. Seaborg, erklärte am 10. März 1966 in Bonn wörtlich: „Unser Programm ‚fortgeschrittener Konverter‘ konzentriert sich auf die schwerwassermoderierten, mit organischen Flüssigkeiten gekühlten Reaktoren sowie die gasgekühlten Hochtemperatur-Reaktoren."
Die voraussichtlichen *Stromerzeugungskosten der fortgeschrittenen Konverter* sind im ganzen günstiger als diejenigen der zur Zeit erprobten Reaktoren. Dies ist der Fall, weil ihr Konzept weiterentwickelt ist, insbesondere, weil der Brennstoff besser ausgenutzt wird. Es wird aber notwendig sein, sich auf wenige erfolgversprechende Reihen zu konzentrieren, denn große Anstrengungen auf den Gebieten der Forschung und Entwicklung sind noch erforderlich, um die Stromerzeugungskosten der in der industriellen Entwicklung weit vorangetriebenen

erprobten Reaktoren zu erreichen und zu unterbieten. Im ganzen kann angenommen werden, daß das Kostenpotential der erwähnten fortgeschrittenen Konverter um 15—25% günstiger ist als das der Reaktoren erprobten Typs.
Letztes Ziel der Reaktorentwicklung ist der *Brut-Reaktor*, und zwar sowohl der auf der Grundlage des Uran-238-Plutonium-239-Zyklus arbeitende *schnelle Brut-Reaktor* wie auch der auf der Basis des Thorium-Uran-233-Zyklus arbeitende *thermische Brut-Reaktor*.
Der Brut-Reaktor hat besondere *Vorzüge*, die die zu seiner Entwicklung unternommenen erheblichen Anstrengungen rechtfertigen:
— Dieser Reaktortyp bietet die Möglichkeit, aus brütbarem Material (Uran 238 oder Thorium) mehr spaltbares Material (Plutonium oder Uran 233) zu erzeugen als für den Betrieb benötigt wird.
— Der Brutvorgang gestattet, einen erheblichen, wahrscheinlich sogar den überwiegenden Teil des in den Reaktorkern eingebrachten Brennstoffs für die Energieerzeugung zu nutzen und damit die Energieausbeute im Vergleich zu den erprobten und fortgeschrittenen Reaktoren um ein Vielfaches — um 1—2 Zehnerpotenzen — zu erhöhen.
— Dieser Reaktortyp erlaubt, den in Konvertern erprobten und fortgeschrittenen Typs anfallenden Spaltstoff (Plutonium und Uran 233) optimal zu nutzen und damit auch die Wirtschaftlichkeit dieser Konverter zu verbessern.
— Brut-Reaktoren erzeugen selbst Spaltstoff, der als erste Ladung für neue Brut-Reaktoren dienen kann.
— Die Kosten der Stromerzeugung von Brut-Reaktoren werden voraussichtlich niedriger sein als diejenigen der Konverter erprobten oder fortgeschrittenen Typs.

Der *schnelle Brut-Reaktor* ist nach Auffassung der EURATOM-Kommission die technisch und wirtschaftlich optimale Fortsetzung einer Entwicklung, die *schwerwassermoderierte Reaktoren* zur Grundlage hat; denn diese Reaktoren liefern nach Wiederaufbereitung der bestrahlten Brennstoffe besonders reichlich das zum Anlaufen der schnellen Brut-Reaktoren in erster Linie geeignete Plutonium, etwa doppelt so viel wie die Reaktoren erprobten Typs. Andererseits läßt sich der *Hochtemperatur-Reaktor* unter besonders günstigen technischen und wirtschaftlichen Bedingungen zu einem *thermischen Thorium-Brüter* weiterentwickeln.
Am ehesten überschaubar sind die Entwicklungsperspektiven des *schnellen Brut-Reaktors*. Solche Projekte werden erarbeitet in den Vereinigten Staaten (z. B. der Reaktor ENRICO FERMI in Detroit), in Großbritannien (Dounreay, in Betrieb seit 1962) und in Assoziierungen mit der EURATOM-Kommission in den Forschungszentren Karlsruhe (Versuchsanordnungen SNEAK [Schnelle Null-energie-Anordnung Karlsruhe], STARK (Schnell-Thermischer Argonaut-Reaktor

Karlsruhe] und SUAK [Schnelle Unterkritische Anordnung Karlsruhe]) und Cadarache/Frankreich (Reaktor RAPSODIE [RAPide (schnell) — SODIum (Natrium)], kritische Anordnung MASURCA [MAquette SURgénératrice de Cadarache — Brütermodell CAdarache] und Quellen-Reaktor HARMONIE). In diesen Zusammenhang gehört auch die Zusammenarbeit deutscher und amerikanischer Wissenschaftler an dem Bau des dynamischen Testreaktors SEFOR (South-West-Experimental-Fast-Oxide-Reactor) in Fayetteville im nordamerikanischen Staat Arkansas. Im inzwischen revidierten zweiten Fünfjahresprogramm von EURATOM sind für die Entwicklung des schnellen Brut-Reaktors 330 Mio. DM, d. h. 18% der Gesamtmittel vorgesehen. Einschließlich der Beiträge, die die Mitgliedstaaten leisten, werden während des Fünfjahreszeitraums 1963—1968 in der Europäischen Gemeinschaft insgesamt 820 Mio. DM für das schnelle-Brut-Reaktor-Programm aufgewendet.[1])
Nunmehr zeichnet sich in der *Bundesrepublik* auch die Linie der industriellen Entwicklung von schnellen Brut-Reaktoren ab, an der die Atomenergieverwaltungen des Bundes und der Länder, das Kernforschungszentrum Karlsruhe und die Industrie teilnehmen werden. Siemens und Interatom werden sich unter Beteiligung niederländischer Unternehmen auf die Entwicklung eines *natriumgekühlten Brut-Reaktors* konzentrieren, die AEG, die Gutehoffnungshütte, die MAN sowie belgische Unternehmen dagegen den *dampfgekühlten Brut-Reaktor* ihren Programmen zugrunde legen. 2 Prototyp-Reaktoren von je 300 MWe Leistung werden nach den bestehenden Plänen 1968 in Angriff genommen werden und 1974 in Betrieb sein. Schnelle Brut-Reaktoren mit industriellem Zuschnitt, die eine Leistung von je etwa 1000 MWe aufweisen, sollen 1977 in Betrieb genommen werden. Die Gesamtkosten dieses Programmes werden auf wenigstens 1 Mrd. DM veranschlagt. In welchem Maße nicht nur die bereits in einem europäischen Programm betriebenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, sondern auch der Bau von Prototypen im Rahmen einer Assoziierung in der Europäischen Atomgemeinschaft durchgeführt werden, ist noch nicht zu übersehen.

---

[1]) Mr. Glenn T. Seaborg, Präsident der USAEC, am 10. März 1966 in Bonn: „Die Entwicklung von Brutreaktoren wird heute im Rahmen aller bedeutenden Kernenergieprogramme mit Vorrang betrieben. Dieser ganze Komplex stellt einen faszinierenden Modellfall internationaler Zusammenarbeit dar. Die diesbezüglichen französischen und deutschen Programme sowie einige kleinere Projekte, die Belgien, Italien und die Niederlande gegenwärtig durchführen bzw. planen, wurden von EURATOM zu einem koordinierten Gesamtprogramm zusammengefaßt. Somit ist nach Ausmaß, Vielfalt und Bedeutung das Entwicklungsprogramm der europäischen Atomgemeinschaft dem der Vereinigten Staaten vergleichbar. Dieser glückliche Umstand hat die Zusammenarbeit zwischen den Trägern des amerikanischen und des europäischen Programms wesentlich vereinfacht. Es kam eine umfassende, ins Detail gehende und auf weite Sicht konzipierte Zusammenarbeit auf dem Gebiet der schnellen Brüter zustande, die meiner Überzeugung nach als ein Musterbeispiel für die wissenschaftliche und technische Kooperation unter fortschrittlichen Ländern gelten darf."

Bis hinauf zu einem Preis von etwa 60 DM/g spaltbares Material, das entspricht etwa 51 DM/g Plutonium mittlerer Isotopenzusammensetzung, wird es sich nach unserer heutigen Kenntnis lohnen, *Plutonium* als Spaltstoff in schnellen Brut-Reaktoren einzusetzen. Bei Wiederverwendung des Plutoniums in Konvertern erprobten Typs oder fortgeschrittenen Typs — der thermischen Rezyklage — muß der Gewinnungspreis für das Plutonium geringer sein als etwa 40 DM/g spaltbares Material oder 34 DM/g Plutonium mittlerer Isotopenzusammensetzung. Zur Zeit lohnt sich nur die *Wiederaufbereitung* von bestrahlten Brennstoffelementen, die *angereichertes Uran* enthalten. Unter Zugrundelegung der Bedingungen für die Reaktor Garigliano (SENN), Italien, ergibt sich die folgende Bilanz:

Aufwendungen:	
— für die Wiederaufbereitung	134 DM/kg Uran[1])
— für Transporte, Versicherungen usw.	80 DM/kg Uran
Zusammen:	214 DM/kg Uran
Erträge:	
— Wert des wiedergewinnbaren, noch leicht angereicherten Urans	190 DM/kg Uran
— Kosten für Rückkonversion und Verluste	— 26 DM/kg Uran
— Wert des gewinnbaren Plutoniums (4,9 g/kg Uran) à 40 DM/g spaltbares Plutonium, unter Berücksichtigung der Verluste bei der Wiederaufbereitung	155 DM/kg Uran
Zusammen:	319 DM/kg Uran
Überschuß mithin:	105 DM/kg Uran

Die Wiederaufbereitung von *Natururanelementen* lohnt dagegen noch nicht, da nur das Plutonium, nicht aber das wiedergewinnbare abgereicherte Uran (etwa 0,4% Anteil U 235) einen wirtschaftlichen Ertrag bringt. Die Elemente werden daher gelagert werden, bis die Wiederaufbereitungskosten so weit gesenkt sein werden, daß sich dieser Prozeß lohnt. Hiermit kann gerechnet werden, da die Wiederaufbereitungsbedürfnisse stark steigen und daher Anlagen großer Kapazität entsprechend niedrigere Kosten erreichen können.
Es ist zu erwarten, daß schnelle Brut-Reaktoren in 10—15 Jahren soviel neuen Spaltstoff erzeugen wie ein zweiter gleichdimensionierter Reaktor zum Anfahren benötigt. Die jährliche Plutoniumerzeugungsrate beträgt also 5—7%. Demgegen-

[1]) Preise des Nuclear Fuel Service (NSF) in den USA, solange die Bedingungen der EUROCHEMIC in Mol/Belgien, bei welcher die Elemente normalerweise aufbereitet werden sollten, noch nicht bekannt sind.

über wird sich die Erzeugung von Kernenergie im Jahrzehnt 1980—1990 im Mittel schon alle 6 Jahre verdoppeln — dies entspricht einer Zuwachsrate von etwa 12%—, danach vermindert sich die Wachstumsrate. Ein System schneller Brut-Reaktoren, das mit der wachsenden Stromnachfrage Schritt halten will, kann sich somit — wenigstens in der Anfangsphase — nicht aus sich heraus mit Plutonium versorgen. Eine Einspeisung von Plutonium aus Konverter-Reaktoren ist erforderlich. Das rechtfertigt die auch im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprogramms der Europäischen Atomgemeinschaft unternommenen Anstrengungen zur Entwicklung von schwerwassermoderierten Reaktoren mit guter Plutoniumausbeute.
In diesem Zusammenhang ist auch das Problem der *radioaktiven Abfälle* zu sehen. Diese werden vor allem bei den Wiederaufbereitungsanlagen anfallen. Als besonders sicher und wirtschaftlich gilt die in Aussicht genommene langfristige zentrale Lagerung in Salzbergwerken. Nach der bei der Aufstellung des Kernenergieprogrammes für die Europäische Atomgemeinschaft angestellten Rechnung werden in der Gemeinschaft bis Ende 1979 etwa die folgenden Mengen an Kernbrennstoffen verbraucht werden:

2100 t für Graphit-Gas-Reaktoren;
450 t für Leichtwasser-Reaktoren;
550 t für fortgeschrittene Konverter.

(Die jährliche Gesamtaktivität für die Gemeinschaft wird 1980 etwa 4 Mrd. Curie betragen). Auf Deutschland werden hiervon nur insgesamt etwa 500 t entfallen. Nur der Anteil an den obengenannten Mengen an Kernbrennstoffen, der nach einer Wiederaufbereitung nicht erneut genutzt werden kann, ist radioaktiver Abfall. Die Mengen sind daher begrenzt, ihre Beseitigung ist praktisch ohne Gefahr möglich und stellt wirtschaftlich nur eine geringe, im Rahmen der hier wiedergegebenen Kalkulationen berücksichtigte Marge der Stromerzeugungskosten dar.

9. Das Kernenergieprogramm der Europäischen Atomgemeinschaft

Das bereits zitierte erste hinweisende Kernenergieprogramm von EURATOM mußte auch auf eine *zweite* oben bereits genannte grundlegende *Frage* antworten, die lautet: Wie soll sich die Erzeugung der Kernenergie nach den verschiedenen zur Wahl stehenden Reaktortechniken orientieren?
Zu diesem Zweck wurden 4 Modellrechnungen durchgeführt. Die ausgewählten vereinfachten *Entwicklungsmodelle* werden der voraussichtlichen Vielschichtigkeit

der Entwicklung zwar nicht voll gerecht, sagen aber doch aus, wie sich einige ausgewählte typische Entwicklungen in bezug auf die Stromerzeugungskosten und in bezug auf den Bedarf an Kernbrennstoffen auswirken, so daß es möglich ist, ein Urteil darüber zu fällen, welcher Orientierung der Kernenergieentwicklung, d. h. welcher Aufeinanderfolge der verschiedenen Reaktortechniken, oder wie man heute sagt, welcher „*Strategie*" gemäß den festgelegten Kriterien der Vorzug zu geben ist.
Es handelt sich dabei um 4 Entwicklungsmodelle, die sowohl hinsichtlich der Kosten der Stromerzeugung wie auch hinsichtlich der Ansprüche an die Versorgung mit Kernbrennstoffen untersucht wurden. Zu diesem Zweck wurden die zur Verfügung stehenden Informationen über die Kostenelemente und den Bedarf an Kernbrennstoffen der Reaktoren erprobten und fortgeschrittenen Typs und der Brut-Reaktoren sorgfältig analysiert. Unter den Reaktoren fortgeschrittenen Typs wurden insbesondere folgende Reaktorreihen in Betracht gezogen: die schwerwassermoderierten Reaktoren, die Advanced Gas-Cooled-Reaktoren, die gasgekühlten Hochtemperatur-Reaktoren, die Natrium-Graphit-Reaktoren, die Seed-and-Blanket-Reaktoren, die Spectral-Shift-Reaktoren und die Leichtwasser-Reaktoren mit nuklearer Überhitzung. Besondere Aufmerksamkeit wurde dem Problem der Plutoniumwirtschaft und den Möglichkeiten der Verwendung des Thoriums geschenkt. Die *ausgewählten Entwicklungsmodelle* sind die folgenden:

1. die Entwicklung wird sich auf Reaktoren erprobten Typs beschränken, diese werden je zur Hälfte Graphit-Gas- und Leichtwasser-Reaktoren sein;
2. die fortgeschrittenen Konverter, und zwar hier vorzugsweise schwerwassermoderierte Reaktoren und Hochtemperatur-Reaktoren, treten, nachdem die Forschung und Entwicklung abgeschlossen ist, nach und nach an die Stelle erprobter Reaktoren;
3. im Anschluß an die Phase der erprobten Reaktoren werden unter Auslassung der Zwischenstufe der fortgeschrittenen Konverter sogleich Brut-Reaktoren in Dienst gestellt;
4. erprobte Reaktoren werden zunächst durch fortgeschrittene Konverter und sodann durch Brut-Reaktoren ergänzt, so daß am Ende des Jahrhunderts die Brut-Reaktoren etwa die Hälfte der Kernenergiekapazität stellen werden; der Installationsrhythmus für Brut-Reaktoren ab etwa 1980—1985 richtet sich nach der Verfügbarkeit an Plutonium.

Daneben werden noch 2, insbesondere unter der Zielsetzung der Verminderung der Ansprüche an die Versorgung interessante Varianten untersucht: die ergänzende Verwendung von Thorium und ein der Brutphase vorangehender Wiedereinsatz des Plutoniums in thermischen Reaktoren.

Die folgende Übersicht gibt für die 4 ausgewählten Entwicklungsmodelle der „Strategien“ die vorgesehene Zusammensetzung des Reaktorparks:

Erwartete Beteiligung der einzelnen Reaktortypen im Rahmen der Modellfälle I—IV (in Prozent der gesamten Kernenergiekapazität)

Zeitpunkt (1. Januar)	Modell I				Modell II				Modell III				Modell IV			
Reaktortypen	GGR	LWR	SWR	Brüter	GGR	LWR	SWR	Brüter	GGR	LWR	SWR	Brüter	GGR	LWR	SWR	Brüter
1970[1])	50	45	—	—	50	45	5	—	50	45	—	—	50	45	5	—
1975	50	50	—	—	41	41	18	—	50	50	—	—	41	41	18	—
1980	50	50	—	—	39,5	39,5	21	—	49	49	—	2	39	39	20	2
1985	50	50	—	—	38	38	24	—	46	46	—	8	34,5	34,5	23	8
1990	50	50	—	—	31	31	38	—	43	43	—	14	26	26	34	14
1995	50	50	—	—	28,5	28,5	43	—	37	37	—	26	15,5	15,5	43	26
2000	50	50	—	—	25	25	50	—	25	25	—	50	9,5	9,5	31	50

GGR = Graphit-Gas-Reaktoren; LWR = Leichtwasser-Reaktoren; SWR = Schwerwasser-Reaktoren, repräsentativ für fortgeschrittene Konverter.

[1]) Bei den Modellen I und III wurde für 1970 ein experimentelles Schwerwasserprogramm berücksichtigt, welches 5% der Gesamtkapazität ausmacht und ab 1975 entfällt.

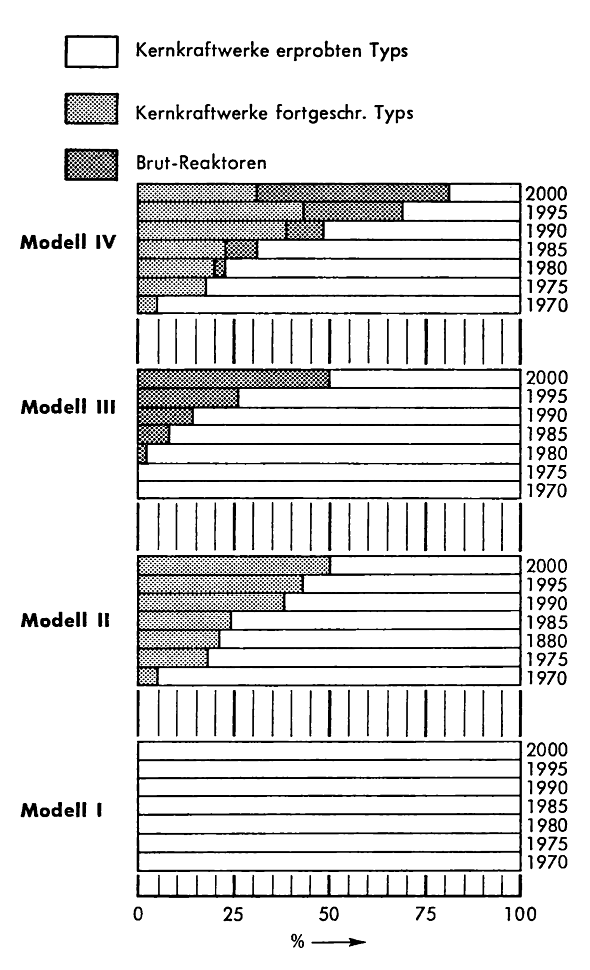


Bild 6. Hypothetische Zusammensetzung des nuklearen Kraftwerkparks im Rahmen der Modellfälle I—IV.

Auf Grund der bereits genannten Kriterien, insbesondere der Zielsetzung möglichst billiger und möglichst sicherer Versorgung mit Energie, wurde dem letzten der 4 vorgenannten Entwicklungsmodelle, der „*Drei-Typen-Strategie*", der Vorzug gegeben. Das erste hinweisende Kernenergieprogramm von EURATOM spricht sich daher für eine Entwicklung der Kernenergie aus, bei der die erprobten Reaktoren zunächst durch fortgeschrittene Konverter und schließlich durch schnelle Brut-Reaktoren ergänzt werden. Dabei sollen zugleich Anstrengungen zur Entwicklung des Thorium-Zyklus und der thermischen Rezyklage gemacht

werden. Den schwerwassermoderierten und den Hochtemperatur-Reaktoren wurde unter den fortgeschrittenen Konvertern insbesondere deswegen Priorität gegeben, weil sich die Industrie der Länder der Europäischen Gemeinschaft gerade in diesen beiden Entwicklungen besonders stark engagiert hat und daher auch Aussicht besteht, daß diese Entwicklungen recht frühzeitig das Stadium der industriellen Reife erreichen.

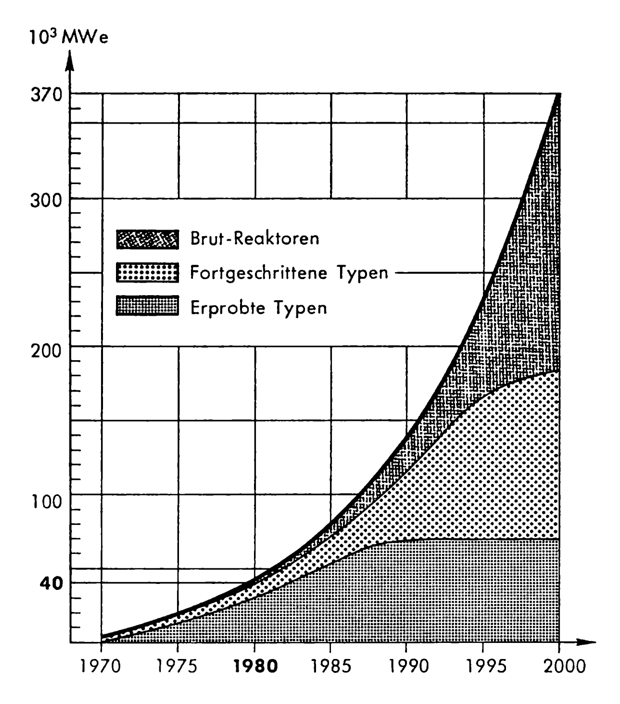


Bild 7. Entwicklung der installierten nuklearen Leistung in der Gemeinschaft gemäß dem ersten Kernenergieprogramm von EURATOM.

Der Übergang von der *„Ein-Typ-Strategie"* (d. h. einer Entwicklung, die sich auf Reaktoren erprobter Bauart beschränkt) auf die hier bevorzugte *„Drei-Typen-Strategie"* (erprobte Typen — fortgeschrittene Konverter — Brut-Reaktoren) wird für die Stromerzeugung aller bis zur Jahrhundertwende in Betrieb zu nehmenden Kernkraftwerke zu einer *zusätzlichen Einsparung* von 160 Mrd. DM in absolutem Betrag oder *35 Mrd. DM in Barwert* führen. Diese Einsparung ist so groß, daß sie die im Vergleich hierzu bescheidenen *finanziellen Anstrengungen*, die notwendig sind, um die neuen Techniken zu entwickeln, voll rechtfertigt:

Im Jahr 1964 wurden in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft je Einwohner die folgenden Mittel für die Forschung und Entwicklung der friedlichen Anwendung der Kernenergie aufgewandt. Die genannten Beträge umfassen die aus den öffentlichen Haushalten finanzierten Zuwendungen an Forschungszentren, die Aufwendungen im Rahmen der Elektrizitätserzeugung und die Zuweisungen an Internationale Organisationen:

— Frankreich	42 DM/Jahr und Kopf
— Deutschland	13 DM/Jahr und Kopf
— Belgien	16 DM/Jahr und Kopf
— Niederlande	8 DM/Jahr und Kopf
— Italien	6 DM/Jahr und Kopf

Insgesamt ergibt das *3,3 Mrd. DM*. Diese Aufwendungen dienten aber nur zu einem Teil der Entwicklung von fortgeschrittenen Konvertern und Brut-Reaktoren. Der Barwert des für diese Aufgabe noch erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsaufwandes liegt somit weit unter dem Barwert der erwarteten Einsparung in den Stromerzeugungskosten.

10. Die Versorgung mit Kernbrennstoffen

Es wird häufig behauptet, wegen der *niedrigen Vorräte an wirtschaftlich abbaubarem Uran* seien der Entwicklung der Kernenergie Grenzen gesetzt. Wie ist die Lage nun wirklich?

Der von der EURATOM-Kommission gebilligte und im September 1963 veröffentlichte Bericht des Beirats der bei ihr eingerichteten Versorgungs-Agentur stellt fest:

- die *abbaufähigen Reserven* in den zur Zeit in der westlichen Welt aufgeschlossenen Urangruben werden zwischen *1980* und *1985* erschöpft sein;
- die *Kapazität* dieser Gruben wird schon zwischen *1975* und *1980* nicht mehr ausreichen, um den laufenden Bedarf zu decken.

Dieser Bericht zieht aber nur Uranvorkommen in Betracht, die zu Kosten — einschließlich Abschreibungen und Kapitaldienst — unter einem Betrag von 8 bis 10 $/Pfund (454 g) Uranoxyd[1]) abgebaut werden können. Dies ist der Preis, der den Kalkulationen der Stromerzeugungskosten von Kernkraftwerken heute allgemein zugrunde gelegt wird. Der gegenwärtige Marktpreis liegt wesentlich niedriger, nämlich bei 4—5 $/Pfund Uranoxyd.

[1]) Das entspricht 71—88 DM/kg Uranoxyd (U_3O_8) bzw. 96—120 DM/kg Uran Metallinhalt.

Der Bericht läßt ferner unberücksichtigt, daß die fortschreitende Entwicklung auf dem Reaktorgebiet zu einer Verringerung des spezifischen Uranbedarfs führt und die Verwendung von Plutonium und Thorium gestatten wird.

Nach den angestellten Errechnungen erfordert das von der EURATOM-Kommission empfohlene erste Kernenergieprogramm für die Gemeinschaft, das den schrittweisen Übergang von Reaktoren erprobten Typs zu fortgeschrittenen Konvertern und schließlich zu Brut-Reaktoren vorsieht, bis zur Jahrhundertwende den Einsatz von insgesamt *330 000 t Uran* an Metallinhalt. Diese Menge liegt nur etwa halb so hoch wie der Bedarf, der sich bei Beschränkung auf Reaktoren erprobten Typs ergeben hätte. Dabei bleibt sowohl die Wiederverwendung des Plutoniums in thermischen Reaktoren wie auch die Verwendung von Thorium außer Ansatz.

Demgegenüber haben die *erschlossenen Reserven* an Uran, das zu Kosten von weniger als 10 $/Pfund (88 DM/kg) Uranoxyd gewonnen werden kann, einen Metallinhalt von *480 000 t;* hierzu kommen *potentielle Reserven mit 420 000 t* Metallinhalt. Der Ostblock ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt. Es kann angenommen werden, daß das Kernenergieprogramm der 6 Länder der Gemeinschaft 20—25 % der Weltenergieerzeugung ausmachen wird. Das zu dem genannten Preis von 8—10 $/Pfund Uranoxyd gewinnbare, zur Zeit erschlossene oder in potentiellen Reserven disponible Uran deckt somit den Weltbedarf bis in die 90er Jahre.

Bei dieser Aussage bleibt allerdings der Uranbedarf für andere Verwendungen als die Elektrizitätserzeugung unberücksichtigt. Es ist aber kaum damit zu rechnen, daß dieser Bedarf in den nächsten 25 Jahren bedeutend sein wird. Andere Verwendungen, insbesondere die Meerwasserentsalzung, die Wärmeerzeugung und der Schiffsantrieb werden voraussichtlich erst in den 80er oder 90er Jahren eine Bedeutung erlangen, die für die Versorgung mit Uran ins Gewicht fällt.

Der Jahresbedarf an Uran für die Stromerzeugung wird um 1995 sein Maximum erreichen. Der Betrieb von fortgeschrittenen Konvertern mit hohem Abbrand, der Wiedereinsatz von Plutonium in thermischen Reaktoren und der Anlauf der Brut-Reaktoren werden danach zu einer Verminderung des Jahresbedarfs führen:

Jahresbedarf an Natururan (unmittelbare Verwendung und Verwendung via Isotopentrennanlage) gemäß dem Kernenergieprogramm von EURATOM

Jahr	Bedarf
1970	2 300 Tonnen Metallinhalt
1975	6 250 Tonnen Metallinhalt
1980	8 250 Tonnen Metallinhalt
1985	12 600 Tonnen Metallinhalt
1990	13 600 Tonnen Metallinhalt
1995	16 700 Tonnen Metallinhalt
2000	15 600 Tonnen Metallinhalt

Kaum jemand zweifelt daran, daß, bevor die Versorgung in den 90er Jahren kritisch wird, zu angemessenen Bedingungen abbaubare neue Uranlagerstätten entdeckt sein werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Prospektion nach Uran seit etwa 10 Jahren wegen der großen, ursprünglich für militärische Zwecke angelegten Vorräte praktisch eingestellt ist. Sollte aber die *alsbald wieder aufzunehmende Prospektion* wider Erwarten erfolglos sein, so wäre es ohne wesentliche Auswirkung in den Kosten der Kernstromerzeugung möglich, auch teureres Uran zu verwenden.

Die bei der Verwendung von Uran der Förderklasse bis 20 $/Pfund (177 DM/kg) Uranoxyd auftretende *Verteuerung der Kernstromerzeugung* hält sich in bescheidenen Grenzen. Für Leichtwasser-Reaktoren des zur Zeit erreichten technischen Entwicklungsstandes wird sie auf etwa 12% veranschlagt[1]). Entsprechend geringere Prozentsätze ergeben sich bei fortgeschrittenen Konvertern. Bei schnellen Brut-Reaktoren kann die Auswirkung vernachlässigt werden.

Die erschlossenen Uranreserven, die zu Kosten bis zu 20 $/Pfund gewonnen werden können, sind um ein Vielfaches umfangreicher als die Reserven zu Kosten unter 10 $/Pfund. Zudem kann nach englischen Untersuchungen zu den genannten Kosten von 20 $/Pfund auch *Uran aus dem Meer* gewonnen werden, das dann in praktisch unbeschränkten Mengen zur Verfügung stünde.

Eine Uranknappheit ist somit nicht zu befürchten.

Auch die Versorgung mit *angereichertem Uran* stellt kein Problem für die unmittelbare Zukunft dar. Die Atomkommission der Vereinigten Staaten hat zu wiederholten Malen, zuletzt durch die Erklärungen ihres Präsidenten, Herrn GLENN T. SEABORG, am 10. März 1966 in Bonn zugesichert, den Bedarf der in den Ländern der Gemeinschaft gebauten und betriebenen Kernkraftwerke zu den gleichen Preisen und Bedingungen zu befriedigen wie den Bedarf in den Vereinigten Staaten. Die von der amerikanischen Atomenergiekommission betriebenen Anreicherungskapazitäten reichen aus, um die nichtkommunistische Welt bis über 1980 hinaus mit angereichertem Uran zu versorgen. Unter weltweiten Versorgungsaspekten besteht somit kein Anlaß, neue Anreicherungskapazitäten vor diesem Zeitpunkt in Betrieb zu nehmen. Das amerikanische Industrial Atomic Forum hat zudem festgestellt, daß die in den Vereinigten Staaten betriebenen

---

[1]) Für Leichtwasser-Reaktoren ist folgende Errechnung der Mehrkosten bei Verteuerung des Urans charakteristisch:

— spezifischer Verbrauch an Natururan via Isotopentrennanlage (Erstausstattung und laufender Verbrauch)	21 kg U-Metall/10^6 kWh
— Verteuerung um 10 $/Pfund U_3O_8	120 DM/kg U-Metall
— Erhöhung der Stromerzeugungskosten	0,25 Pf/kWh
d. i. bei Stromerzeugungskosten von 2 Pf/kWh	12,5%

Anreicherungsanlagen nicht subventioniert seien. Neue Anlagen seien in der Lage, bei den geltenden Preisen ihre Kosten ungefähr zu decken.[1])

11. Die Sicherheit von Kernenergieanlagen

Die kernindustrielle Tätigkeit und der Betrieb von Kernkraftwerken zeichnen sich durch einen *besonders hohen Grad an Betriebssicherheit* aus. Die Atomkommission der Vereinigten Staaten (USAEC), die auf diesem Gebiet über die meisten und längsten Erfahrungen verfügt, registrierte in den 22 ersten Jahren ihrer Tätigkeit, nämlich zwischen 1943 und 1964 (einschließlich) 251 tödliche Arbeitsunfälle, von denen nur 6 auf nukleare Ursachen zurückzuführen waren. Zudem liegt die Häufigkeit *tödlicher Arbeitsunfälle* bei der AEC mit einem Unfall auf ungefähr 1 Mio. Arbeitsstunden wesentlich niedriger als in der übrigen amerikanischen Industrie. Dort werden auf die gleiche Anzahl von Arbeitsstunden 6 Unfälle verzeichnet.

---

[1]) Der Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika gab im Februar 1966 anläßlich der Verkündung der Präsidialverfügung über die Freigabe von angereichertem Uran für die friedliche Nutzung im Ausland folgende Erklärung ab: „Mit der weiteren Entwicklung von Atomprogrammen wird es zweifellos erforderlich werden, künftig immer größere Mengen solchen Materials zur Verfügung zu stellen. Die große Kapazität der amerikanischen Diffusionsanlagen für die Erzeugung von angereichertem Uran erlaubt es, sowohl den zivilen als auch den militärischen Bedarf zu decken." Dazu führte der Vorsitzende der amerikanischen Atomenergiekommission, Mr. GLENN T. SEABORG, am 10. März 1966 in Bonn aus: „Diese Anlagen arbeiten heute mit weniger als der Hälfte ihrer Kapazität, so daß erheblicher Spielraum für eine Produktionserhöhung zur Befriedigung weit stärkerer Nachfrage als sie gegenwärtig besteht, gegeben ist. Äußerst wichtig ist, daß die Kapazitätserweiterung der Diffusionsanlagen keiner Beschränkung unterliegt und mithin im Bedarfsfalle selbst Anforderungen zu erfüllen wären, die über die sehr großen Mengen hinausgehen, welche von unseren bestehenden Anlagen geliefert werden könnten. Falls es die Marktlage erfordert, würden selbstverständlich in den USA neue, wettbewerbsfähige Anlagen für die Produktion von angereichertem Uran errichtet. Wir sind dazu in der Lage, weil unsere Preise für angereichertes Uran auf einer realistischen Kostenrechnung basieren, die die Gesamtkosten der Erzeugung einschließlich der Amortisation der Anlagen berücksichtigt. Für neue Anlagen, die aller Voraussicht nach noch leistungsfähiger als die jetzt in Betrieb befindlichen wären, ergäbe sich somit eine Preisbasis, die der heute bestehenden vergleichbar ist. Bei genügend großem Angebot bleiben die Preise stabil. Die Preise für amerikanisches angereichertes Uran, die erstmals 1956 bekanntgegeben wurden, sind bislang zweimal geändert worden. Beide Male handelte es sich um Preissenkungen. Trotz der zur Zeit erheblichen Produktionsdrosselung wurde keine Erhöhung unserer Preise für angereichertes Uran erforderlich, und die Atomenergiekommission läßt grundsätzlich die Amortisierung jener Teile der Diffusionsanlagen, die wegen der Einschränkung der Produktion nicht in Betrieb sind, in ihrer Preispolitik unberücksichtigt. Da wir in der Auffindung neuer Uranvorkommen — sofern wir uns nur ernsthaft darum bemühten — bisher sehr erfolgreich waren, haben wir heute einen Überschuß an Natururan und entsprechend niedrige Preise. Im vergangenen Jahr kam es hinsichtlich unserer Verteilungsverfahren für angereichertes Uran zu einer wichtigen neuen Entwicklung, die für die Benutzer von angereichertem Uran außerhalb der Vereinigten Staaten besondere Bedeutung hat. Auf Grund dieser Verfahrensänderung können wir vom Jahr 1969 an vom Verbraucher Natururan annehmen und es in unseren Diffusionsanlagen anreichern, wobei wir lediglich die Anreicherungskosten berechnen. Dies hat für den Benutzer den Vorteil, Natururan zu verwenden, das aus eigener Produktion stammt oder zu günstigeren Preisen auf dem Weltmarkt angeboten wird. Die direkte Auswirkung im Jahr 1969 wird eine weitere erhebliche Kostensenkung bei angereichertem Uran sein, da unsere heutigen Preise auf den Kosten für Natururan basieren, das wir vor einiger Zeit zu wesentlich höheren als den gegenwärtigen Preisen ankauften."

Die Liste der bisher *in der Welt eingetretenen Kernunfälle*, wie sie vom Institut der europäischen Versicherungsunternehmen zum Studium der nuklearen Risiken (CERA) in Zürich zusammengestellt wurde, enthält, abgesehen von einer großen Zahl von Zwischenfällen, die nur Sachschäden geringen Ausmaßes verursacht haben, insgesamt nur 7 größere Unfälle mit erheblichen Folgen, insbesondere auch Todesfällen in den Anlagen oder auch (Dritt-)Schäden außerhalb der Anlagen.

Diese Unfälle sind die folgenden:

— Chalk River, Kanada, Reaktor NRX; Dezember 1952:
Durchgehen des Reaktors; totale Kontaminierung der Anlage und leichte Kontaminierung der Umgebung.

— Windscale, England; Oktober 1957:
Brand in einem Brennstoffkanal des Reaktors; der Reaktor wurde völlig kontaminiert und ist dauernd unbrauchbar; 14 Angestellte erhielten Überdosen; Kontaminierung der Umgebung; Schaden im Reaktor etwa 22 Mio. DM; 700 000 DM Entschädigung wurden für die vorsorglich nichtverwendete Milch bezahlt, da die Gefahr einer Kontaminierung der Kühe bestand.

— Chalk River, Kanada, Reaktor NRU; Mai 1958:
Brennstäbe gerieten beim Ausfahren aus dem Core in Brand; Kontaminierung des Gebäudes sowie leichte Kontaminierung von 40 ha der Umgebung; Dekontaminierungsarbeiten von 3 Monaten.

— Vinca, Jugoslawien; Oktober 1958:
Kritikalitätsunfall in einem Forschungsreaktor: zahlreiche Techniker waren einer starken Bestrahlung ausgesetzt; 6 von ihnen waren erheblich betroffen; 1 Toter.

— Waltz Mill, USA; WTR-Forschungsreaktor; April 1960:
Bruch eines Brennelements, Kontaminierung der Kühlanlage; Kosten für Dekontaminierung des Reaktors etwa 4 Mio. DM.

— Idaho Falls, USA; Reaktor SL 1; Januar 1961:
Kritikalitätsunfall des Reaktors; 3 Techniker wurden getötet; Totalverlust des Reaktors.

— Wood River Junction, USA; Aufbereitungsanlage; Sommer 1964:
Kritikalitätsunfall; 1 Beschäftigter wurde getötet.

— Mol, Belgien, Dezember 1965; Kritikalitätsunfall der Kritikalitätsanlage Venus; 1 Techniker wurde verletzt; kein Sachschaden.

Keiner dieser aufgeführten Unfälle betrifft ein Kernkraftwerk. Die aufgeführten Unfälle haben sich mit Ausnahme von Windscale und Wood River Junction sämtlich in Forschungs- und Entwicklungsanlagen ereignet. Die beiden schwersten

Unfälle, Windscale und Idaho Falls, betrafen militärische Anlagen, die einer zivilen Kontrolle entzogen waren. Der Unfall in Idaho Falls beruhte auf Fehlern in der Bedienung, die auf menschliches Versagen und ungenügende Kontrolle zurückzuführen waren. Der Unfall in Vinca, Jugoslawien, geht auf ungenügende Ausbildung der Techniker zurück. In Windscale kam es zum Unfall wegen mangelnder Kenntnis und ungenügender Erprobung bei einer schnell durchzuführenden militärischen Aufgabe.

Der einzige nukleare Industrieunfall, dem ein Menschenleben zum Opfer gefallen ist, ist der von Wood River Junction. Dieser Unfall ist auf leichtsinniges und falsches Verhalten eines Angestellten zurückzuführen, der radioaktive Stoffe in einen nicht dafür vorgesehenen Behälter füllte. Inwieweit mangelnde Aufsicht eine Rolle gespielt hat, ist nicht bekannt.

Eindeutig läßt sich feststellen, daß Betriebsunfälle, bei denen Arbeiter zu Schaden kommen, sehr selten sind und daß deshalb die Nuklearindustrie als einer der sichersten Industriezweige gelten kann. Drittschäden außerhalb nuklearer Anlagen sind bis jetzt — außer dem in Windscale — kaum aufgetreten; in Windscale betraf im übrigen der Drittschaden nur die vorsorglich vernichtete Milch. Prof. CLIFFORD K. BECK teilte auf der 3. Genfer Atomkonferenz im August 1964 mit, daß sich in den 246 Reaktoren der Vereinigten Staaten mit einer Gesamtbetriebszeit von über 1000 Jahren noch kein Unfall ereignet habe, der die Öffentlichkeit einer Gefahr ausgesetzt hätte.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, daß in industriellen Kernkraftwerken die Gefahr nuklearer Unfälle erheblichen Ausmaßes außerordentlich gering ist, denn diese Anlagen sind technisch recht gut gesichert, der Umgang mit radioaktiven Stoffen untersteht ständiger strenger Kontrolle.

Als beruhigendes Zeichen für die geringe Gefahr, die der Betrieb von Kernkraftwerken für die Umgebung darstellt, kann auch gelten, daß das Projekt für den Bau des *Ravenswood-Kraftwerks* von 700 MWe nuklearer Leistung und 300 MWe fossiler Überhitzerleistung im Zentrum von *New York* keine ernsthaften Sicherheitsbedenken ausgelöst hat; die Ausführung dieses Projektes ist aus anderen Gründen gescheitert.

12. Maßnahmen zur Verwirklichung der Ziele des Kernenergieprogramms von EURATOM

Das ökonomische Potential der Kernenergie ist beachtlich. Es sollten daher alle Anstrengungen unternommen werden, um dieses Potential sinnvoll zu nutzen. Die europäische Wirtschaft kann dem Wettbewerb der übrigen Weltwirtschaft langfristig nur dann standhalten, wenn dafür gesorgt wird, daß *die Kosten der für die europäische Industrie grundlegenden Energieerzeugung* so weit wie möglich *gesenkt* werden und im ganzen nicht höher, sondern eher niedriger liegen als anderweit. Die Kernenergie kann nur *in großen Einheiten* wirtschaftlich eingesetzt werden, das ist eines ihrer wichtigsten Charakteristiken; insbesondere gilt dies für Isotopentrennanlagen, Kernkraftwerke, Wiederaufbereitungsanlagen usw. Eine Zusammenarbeit über die Grenzen hinweg ist daher besonders geboten. In diesem Sinne ist zu verstehen, daß wirtschaftspolitische und betriebswirtschaftliche Maßnahmen, die darauf abzielen, zu einer unter weltwirtschaftlichen Maßstäben leistungsfähigen Kernindustrie und Kernenergie zu gelangen, von den Erfolgen internationaler Zusammenarbeit weitgehend abhängen.

Die Europäische Atomgemeinschaft ist, wie der Vertrag postuliert, in erster Linie dazu berufen, eine solche *internationale Zusammenarbeit* zwischen den in der Gemeinschaft zusammengeschlossenen Atomenergieverwaltungen, Industrien und Elektrizitätserzeugern herbeizuführen. Auf dem Gebiet der Kernindustrie und Kernenergie muß ein gemeinsamer Markt, d. h. eine *Freizügigkeit* der Güter und Leistungen, ein System einheitlicher *Wettbewerbsregeln* und eine gemeinsame *Handelspolitik* verwirklicht werden; zugleich muß eine gemeinsame Politik, insbesondere eine gemeinsame *Energiepolitik* und gemeinsame *Struktur- und Entwicklungspolitik* erreicht werden. Dabei sind große Schwierigkeiten zu überwinden, nicht nur wegen der nach Ländern unterschiedlichen Ausgangslage, sondern auch wegen der unterschiedlichen industriepolitischen Konzeptionen der Mitgliedstaaten. Die Verteilung der *Kompetenzen* und wechselseitigen *Beziehungen* der wesentlich beteiligten Gruppen — für die Kernindustrie und Kernenergie zuständige staatliche Verwaltungen, Reaktorbau- und -zulieferindustrie und Elektrizitätserzeugung — sind von Land zu Land verschieden. Sie reichen von einer im wesentlichen staatswirtschaftlichen Struktur, wie wir sie in Frankreich antreffen, bis zu einer in ihren Grundzügen privatwirtschaftlichen Struktur, wie sie für die deutsche Kernindustrie und Kernenergie charakteristisch ist. Eine Zusammenarbeit über die Grenzen hinweg wird dadurch sehr erschwert.

Unter den gegebenen Verhältnissen ist es nicht verwunderlich, daß auf diesem Gebiet ein *gemeinsamer Markt* bisher kaum verwirklicht ist. Für die unter den EURATOM-Vertrag fallenden Erzeugnisse besteht innerhalb der Gemeinschaft

nur eine beschränkte Freizügigkeit. Die in der Zielsetzung des Gemeinsamen Marktes liegende *Liberalisierung* der Vergabe von *Bauaufträgen* für Kernkraftwerke, die allein zu einem echten Leistungswettbewerb führen wird, fehlt noch vollkommen.

Ebenso unbefriedigend ist die Lage auf dem Gebiet der *Energiepolitik*. Die Tatsache, daß zur Zeit noch 3 Europäische Gemeinschaften energiepolitische Zuständigkeiten besitzen (EGKS, EWG und EURATOM) und in keinem der 3 Verträge eine gemeinsame energiepolitische Zielsetzung, ein Instrumentarium und ein Zeitplan für die Verwirklichung festgelegt sind, hat zur Folge, daß jede umfassende, über die Zuständigkeit eines einzelnen Vertrages hinausreichende energiepolitische Maßnahme vom Ministerrat einstimmig entschieden werden muß. Die insbesondere in Fragen des Kohlebergbaus unterschiedliche Interessenlage der Mitgliedstaaten hat eine solche Einstimmigkeit bisher meistens verhindert. Das Memorandum über die Energiepolitik vom 25. Juni 1962 ist nicht verwirklicht worden, das vom Ministerrat am 21. April 1964 verabschiedete Protokoll über Energiefragen definiert im wesentlichen nur die Zielsetzungen einer solchen Energiepolitik, sagt aber nichts über die Verwirklichung einer solchen Politik. So richten sich die Hoffnungen auf die für Herbst 1966 erwartete Fusion der Exekutiven und die danach innerhalb einer Frist von drei Jahren geplante Fusion der Verträge. Der neue gemeinsame Vertrag muß die Grundlagen der Zielsetzungen einer solchen gemeinsamen Energiepolitik schaffen.

Aus all dem ergibt sich, daß es auf keinem Gebiet der wirtschaftlichen Integration an einem gemeinsamen Markt und einer gemeinsamen Politik noch so sehr fehlt wie auf dem Gebiet der Energie und besonders auf dem Gebiet der Kernenergie. Diese Situation ist paradox, denn auf dem Energiebereich hat die Integration mit der Schaffung der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl ihren Anfang genommen. Die Europäische Atomgemeinschaft ist errichtet worden, damit die Kernindustrie und Kernenergie Vorreiter und nicht Nachzügler der europäischen Integration werden sollen.

Maßnahmen, um diesen Rückstand aufzuholen und damit die Verwirklichung der Ziele der Kernenergieerzeugung zu ermöglichen oder wenigstens zu erleichtern, sind daher dringlich, sonst wird die Entwicklung auf diesem für die Zukunft so entscheidenden Gebiet der Technik und Wirtschaft nicht so schnell vorangehen, wie dies im Interesse der allgemeinen Wirtschaftsentwicklung geboten ist. Das würde nicht nur zu einem Rückstand gegenüber den angelsächsischen Ländern führen, auch für die Energiewirtschaft der Gemeinschaft und damit für die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie der Gemeinschaft hätte dies schwerwiegende Folgen.

Die Sorgen um den Entwicklungsstand und die Bemühungen, die Entwicklung voranzutreiben, sind daher legitim. Das adäquate Mittel, dieses Ziel zu erreichen, ist aber eine ***umfassende, einheitlich konzipierte Industriepolitik*** im weitesten Sinne des Wortes. Nach dem hier Dargelegten dient eine solche Politik dazu, die unerläßlichen Voraussetzungen zu schaffen, um der Kernindustrie und Kernenergie in der Wirtschaft der Gemeinschaft den Platz und die Entwicklungsmöglichkeiten zu sichern, die erforderlich sind, den wirtschaftlichen Beitrag zu leisten, der durch das hier dargestellte Programm der Europäischen Atomgemeinschaft für die Kernenergieerzeugung vorgezeichnet ist.

Aus den voranstehenden Ausführungen ergibt sich recht deutlich, welche Schwierigkeiten eine nukleare Industriepolitik zu überwinden hat und welches daher die wesentlichen Domänen und Zielsetzungen sein müssen. Es genügt daher, die danach im einzelnen vorzusehenden Aktionen kurz stichworthaltig aufzuführen:

Auf dem Gebiet der *Energiewirtschaft* muß unter den vordringlichen Zielsetzungen einer möglichst billigen und zugleich sicheren Versorgung mit Energie, die nicht zu wirtschaftlichen und sozialen Spannungen bei den erforderlichen Umstrukturierungen führt, eine gemeinsame europäische Energiepolitik konzipiert werden. Diese Politik muß — wie das Memorandum von 25. Juni 1962 und das Protokoll vom 21. April 1964 fordern — der Kernenergie den ihr gemäßen Platz in der Energieversorgung einräumen; nur dann kann das wirtschaftliche Potential dieser neuen Energie zum Wohle der europäischen Wirtschaft voll genutzt werden,[1])

Auf dem Gebiete der *Elektrizitätswirtschaft* muß eine erhöhte Leistungsfähigkeit der Netze und ein verstärkter internationaler Verbund erreicht werden; nur dann kann die durch große Leistungseinheiten gekennzeichnete Kernstromerzeugung im Elektrizitätsversorgungssystem ohne Störungen untergebracht werden. Dazu ist insbesondere erforderlich, die dem internationalen Stromaustausch entgegenstehenden Schranken und Einrichtungen abzubauen, so vor allem zu einer Harmonisierung der die Elektrizitätsversorgung belastenden direkten und indirekten Steuern zu gelangen, die Systeme der Tarifpolitik einander anzunähern und die Konzessionierungsgrundsätze und Systeme der Demarkationsabsprachen mehr als bisher aufeinander abzustimmen.

Auf dem Gebiete der *Versorgung mit Kernbrennstoffen* ist die Konzeption einer gemeinsamen Versorgungspolitik notwendig, die die augenblickliche Einfuhrabhängigkeit des Gemeinsamen Marktes verringert und die im Vertrag geforderte

[1]) Abschnitt V des Protokolls eines Abkommens über Energiefragen vom 21. April 1964 (Amtsblatt der Gemeinschaften 1964, S. 69): „In bezug auf die Kernenergie sind die Regierungen gewillt, im Rahmen und nach den Modalitäten des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft die Forschungs- und Versuchstätigkeit und die Hilfe für die industrielle Entwicklung der Kernenergie in der Gemeinschaft zu fördern und zu verstärken, um es diesem neuen Energieträger zu gestatten, so bald wie möglich den vollen Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs der Gemeinschaft zu leisten, den er unter wirtschaftlichen Bedingungen zu liefern imstande ist.“

regelmäßige und gerechte Versorgung sicherstellt. Koordinierte Anstrengungen zur Schürfung neuer Uranvorkommen, der Abschluß von langfristigen Lieferkontrakten und vielleicht auch die finanzielle Beteiligung an Uranvorkommen in dritten Ländern sind geeignete Mittel. Es muß die Frage entschieden werden, ob und gegebenenfalls mit welchen technischen und wirtschaftlichen Parametern eine Isotopentrennkapazität in der Gemeinschaft oder unter der Kontrolle der Gemeinschaft geschaffen werden soll. Im übrigen ist erforderlich, die Bestimmungen des EURATOM-Vertrages über die Versorgung gemäß dem hierfür vorgesehenen Verfahren (Artikel 76 des EURATOM-Vertrages) der geänderten Lage und den geänderten Bedürfnissen anzupassen.
Auf dem Gebiete der *Reaktorbau- und -zulieferindustrie* gilt es, die bisherige Zersplitterung zu vermindern. Vor allem muß durch geeignete administrative Maßnahmen erreicht werden, daß es zu einer wirkungsvollen Zusammenarbeit kommt zwischen den vertikal integrierten Unternehmen in einigen Mitgliedstaaten, insbesondere in Deutschland, und den nach dem Kooperationstyp organisierten Unternehmen in anderen Mitgliedstaaten, insbesondere in Frankreich. Dies könnte im Wege von Abmachungen über eine Spezialisierung und Arbeitsteilung, wie auch in Formen direkter Zusammenarbeit, z. B. in Arbeitsgemeinschaften für die Planung und den Bau von Kernkraftwerken, geschehen.
Auf dem Gebiet des in die Verantwortung der Elektrizitätserzeuger fallenden *Baues von Kernkraftwerken* ist eine verstärkte Zusammenarbeit innerhalb der Gemeinschaft in besonderem Maße geboten. Die Errichtung von gemeinsamen Unternehmen für Kernkraftwerke erprobter Bauart sollte, soweit das möglich ist, gefördert werden. Soweit es sich um Prototypen handelt, sollten als Auftraggeber eigens geschaffene Gesellschaften auftreten, an denen die an diesem Typ interessierte Gruppen — Elektrizitätserzeuger, Reaktorbau- und -zulieferindustrie und die von öffentlichen Stellen betriebene Forschung — angemessen finanziell und risikomäßig beteiligt sind. Auf jeden Fall sollten an Reaktorentwicklungen, die in Forschungszentren betrieben werden, die Elektrizitätserzeuger und die Industrie so früh wie möglich interessiert werden. Dazu gilt es, frühzeitig nicht nur die technischen Parameter eines Prototyps zu bestimmen, sondern auch Überlegungen anzustellen, ob und in welchem Maße ein nach der Phase eines leistungsschwächeren Prototyps zu bauendes Kernkraftwerk industriellen Zuschnitts im Zeitpunkt seiner voraussichtlichen Inbetriebnahme Elektrizität zu Kosten und Versorgungsbedingungen zu erzeugen vermag, die im Vergleich zu schon laufenden anderen Entwicklungen den erforderlichen Einsatz von Mitteln zur Forschung und Entwicklung rechtfertigen.
Auf dem Gebiete der *Wiederaufbereitung*, des *Transports irradiierter Brennstoffe* und der *Beseitigung des radioaktiven Abfalles* ist wegen der erforderlichen Größenord-

nungen eine zentrale Planung ganz besonders vonnöten. Es gilt, die Standorte und Kapazitäten der Wiederaufbereitungsanlagen rechtzeitig festzulegen, den Transport der bestrahlten Brennstoffelemente im Hinblick auf den zu wählenden Behältertyp, die Beachtung der Erfordernisse des Gesundheitsschutzes, die notwendigen Transportgenehmigungen und die Einrichtung eines Systems der Haftung und Versicherung systematisch vorzubereiten und ein unter den Gesichtspunkten des Gesundheitsschutzes und der Wirtschaftlichkeit geeignetes Verfahren der Beseitigung der radioaktiven Abfälle zu entwickeln.
Schließlich ist auf dem Gebiete der *Haftung und Versicherung* dafür zu sorgen, daß die beiden internationalen Haftungskonventionen für nukleare Anlagen in Kraft gesetzt werden, ein leistungsfähiges Versicherungssystem für nukleare Sachschäden und für die nukleare Haftung aufgebaut wird und die Haftpflichtpolicen mit dem Ziele der Rückversicherungsmöglichkeiten einander angeglichen werden.
Im Sinne der hier bezeichneten großen Aufgaben sollte es im Interesse aller beteiligten Gruppen — der zuständigen staatlichen Stellen, der Elektrizitätswirtschaft und der Reaktorbau- und -zulieferindustrie — liegen, dazu beizutragen, daß für die Kernenergie und Kernindustrie ein *Gemeinsamer Markt* verwirklicht und eine *gemeinsame Politik* festgelegt wird.

13. Energiepolitische Schlußfolgerungen

Werden die bereits genannten Zielsetzungen für eine gemeinsame Energiepolitik als Kriterien dafür verwendet, inwieweit die Kernenergie geeignet ist, zukünftig maßgebend zur Energieversorgung beizutragen, so ergibt sich folgendes:

1. Die Entwicklung der Kernenergie entspricht in erster Linie der Zielsetzung einer *möglichst billigen Energieversorgung*. In der Tat liegen auf Grund von Festpreisangeboten die Anlagekosten von Kernkraftwerken erprobten Typs (Leichtwasser-Kraftwerke von 600 MWe Leistung um 600 DM/kWe) kaum noch über denen herkömmlicher Wärmekraftwerke (um 500 DM/kWe). Diese Vergleichskosten werden demnächst wahrscheinlich unterschritten werden. Die Brennstoffkreislaufkosten von Kernkraftwerken erprobten Typs des bereits erreichten technischen Entwicklungsstandes liegen weit unter den Brennstoffkosten herkömmlicher Wärmekraftwerke. Die Relation beträgt bei Verwendung einheimischer Brennstoffe etwa 1 : 3, bei Verwendung von Importbrennstoffen ungünstigstenfalls noch 1 : 2. Mit der technischen Entwicklung, an der auch die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke bei den Brennstoffwechseln teilhaben werden, vergrößert sich der Kostenabstand mehr und mehr. Graphit-Gas- und Leichtwasser-Reaktoren des erreichten technischen Entwicklungsstandes haben die gleichen Stromerzeugungskosten wie entsprechende

herkömmliche Wärmekraftwerke, die ihren Brennstoff zu einem Preis zwischen 35 und 45 DM/t Steinkohle oder Steinkohleäquivalent frei Kraftwerk beziehen (der Betrag von 45 DM beruht auf einer besonders vorsichtigen Rechnung für die unmittelbare Zukunft und dürfte bereits durch die vorliegenden Angebote überholt sein). Eine Senkung dieses Äquivalenzpreises unter 30 DM/t ist zu erwarten. In ihren Stromerzeugungskosten sind diese Kernkraftwerke damit gegenüber herkömmlichen Wärmekraftwerken in jeder Hinsicht wettbewerbsfähig; für diese kostet die heimische Steinkohle etwa 70 DM/t ab Zeche, die Einfuhrkohle um 55 DM/t cif Seehafen und das Heizöl zwischen 45 und 55 DM/t Steinkohleäquivalent ab Raffinerie. Wegen der geringen Differenz der Anlagekosten spielt dabei kaum noch eine Rolle, ob der Einsatz der Kernenergie in der Grundlast (6000—7000 Jahresstunden) oder in der Mittellast (4000—5000 Jahresstunden) erfolgt.

Die Entwicklung von fortgeschrittenen Konvertern — insbesondere von schwerwassermoderierten und Hochtemperatur-Reaktoren — und die spätere Entwicklung von schnellen und thermischen Brut-Reaktoren wird zu einer Senkung der Kosten der Kernstromerzeugung um wenigstens 20%, wahrscheinlich aber um einen sehr viel höheren Prozentsatz führen. Damit wird der Äquivalenzpreis unter 25 DM/t Kohleäquivalent sinken. Um das zu erreichen, ist aber erforderlich, die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten fortzusetzen, die dazu dienen sollen, diese Techniken zur industriellen Reife zu bringen. Der dafür erforderliche Aufwand liegt weit unter der hieraus sich ergebenden Ersparnis in den Stromerzeugungskosten.

2. Die Entwicklung der Kernenergie entspricht andererseits der Zielsetzung einer *möglichst sicheren Versorgung*. Auch bei einer noch so starken Stützung der heimischen Steinkohleförderung und des Absatzes durch Beihilfen und Schutzmaßnahmen wird die Energieversorgung der Gemeinschaft in steigendem Maße von Einfuhren abhängen. Bereits jetzt wird etwa die Hälfte der benötigten Primärenergie eingeführt. Da die Verstromung heimischer Energien (Steinkohle, Braunkohle, Wasserkraft, Erdgas, Hochofengas usw.) nur begrenzt gesteigert werden kann, stehen zukünftig in erster Linie Heizöl, Einfuhrkohle und Kernenergie zur Wahl. Dabei weisen die Kernbrennstoffe folgende Vorteile gegenüber dem Heizöl und gegenüber der Einfuhrkohle auf:
   — Der *Wertanteil* der Kernbrennstoffe am Enderzeugnis, der Elektrizität, ist recht gering: bei Graphit-Gas-Reaktoren unter 15%, bei Leichtwasser-Reaktoren unter 25%, bei Schwerwasser-Reaktoren unter 8%, bei schnellen Brut-Reaktoren wesentlich weniger. Demgegenüber liegt der Einfuhranteil sowohl bei Verwendung von Einfuhrkohle wie auch bei Verwendung von Heizöl, zurückgeführt auf Einfuhrrohöl, über 50%. Die Kernstromerzeu-

gung führt somit zu einer vergleichsweise geringen Devisenbelastung und andererseits zu einer Verstärkung der heimischen Beschäftigung.

— Die Kernstromerzeugung benötigt außerordentlich *geringe Brennstoffeinsatzmengen:* Im Vergleich zu den erforderlichen fossilen Brennstoffen beträgt die Relation für erprobte Reaktoren etwa 1 : 10 000 und für Brut-Reaktoren voraussichtlich mehr als 1 : 100 000. Eine Gefährdung der Versorgung wegen Transportschwierigkeiten ist daher kaum zu befürchten.

— Unter der Zielsetzung einer möglichst starken Streuung der Einfuhren nach Herkunftsländern weist die Kernstromerzeugung, verglichen mit dem Rohöl, eine recht *günstige Einfuhrstruktur* auf: die wichtigsten Bezugsländer sind Kanada, die USA, Südafrika und Australien; demgegenüber stammen 85—90% der Erdöleinfuhren aus Ländern der arabischen Welt (Mittlerer Osten, Libyen und Algerien).

— Die *Brennstoffbevorratung* eines Kernkraftwerkes für 1 Jahr beansprucht nur höchstens ein Drittel der entsprechenden Kosten für die Bevorratung eines herkömmlichen Wärmekraftwerks.[1])

— Die Kernstromerzeugung ist *gegenüber* kurzfristigen *Unterbrechungen der Versorgung* mit Brennstoffen weitgehend *unempfindlich:* das Core hat eine Lebensdauer von mehreren Jahren, die Auswechslung kann gegebenenfalls hinausgezögert werden.

Zudem hat MANDEL gezeigt, daß die Substitution einer Tonne heimischer Steinkohle durch Kernenergie zu einer Ersparnis bei den Kosten der Stromerzeugung führt, die es gestattet, eine Reserve an Kernbrennstoffen mit einem Energiewert von bis zu 9 t Steinkohleäquivalent anzulegen.[2]) Auf dem Gebiet der Kernenergie sind Maßnahmen zur Verstärkung der Versorgungssicherheit somit besonders billig.

---

[1]) Die Kosten für die Bevorratung eines Kraftwerks für ein Jahr (finanzielle Lasten und Wartungskosten für die erforderlichen Spezialanlagen, insbesondere Lagerplatz, Behälter, Lagerraum, Zinsen und Steuern [9% des Wertes der gelagerten Brennstoffe], Einlagerungs- [Aufhalderungs-] und Entnahme- [Abhalderungs-] Kosten sowie Wertminderungen durch die Lagerung) sind nach einer 1962 angestellten Rechnung etwa die folgenden (siehe Untersuchung über langfristige energiewirtschaftliche Aussichten der Europäischen Gemeinschaft, Luxemburg 1962—1964):

für Steinkohlekraftwerke	
— Lagerung der Kohle (56 DM/t franko) auf der Zechenhalde	0,4 Pf/kWh
für Heizölkraftwerke	
— Lagerung des Öls (80 DM/t franko) bei dem Kraftwerk	0,4 Pf/kWh
für Graphit-Gas-Kraftwerke	
— Lagerung des Natururans (8 $/£ Uranoxyd) bei dem Brennstoffelementehersteller	0,04 Pf/kWh
für Leichtwasser-Kraftwerke	
— Lagerung des angereicherten Urans (USAEC-Preisliste) bei dem Brennstoffelementehersteller	0,08 Pf/kWh

[2]) Prof. Dr. Dr. HEINRICH MANDEL in seinem bereits zitierten Vortrag anläßlich der Messe in Hannover im April 1965.

3. Nach dem Bericht „Civilian Nuclear Power ... a Report to the President", den die amerikanische Atomenergiekommission Ende 1962 veröffentlichte, werden die abbauwürdigen *Reserven fossiler Brennstoffe* der Vereinigten Staaten innerhalb von 1—2 Jahrhunderten erschöpft sein. Nur die Kernenergie, und hier besonders die Entwicklung schneller Brut-Reaktoren, gestattet, die Energieversorgung auf lange und längste Sicht preiswert zu sichern.

   Was für die Vereinigten Staaten gilt, die über einen großen Reichtum an Energiequellen verfügen — die Reserven an förderwürdigen fossilen Brennstoffen machen 25—30% der Weltreserven aus — und auf die andererseits etwa 40% des Weltenergieverbrauches entfallen, gilt in stärkerem Maße für die Gemeinschaft. Diese verfügt nur über 5% der Weltenergiereserven und ist am Weltenergieverbrauch mit ungefähr 10% beteiligt.
4. Die Entwicklung der Kernenergie wird nach weitgehend anerkannter, auch vom Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuß bestätigter Auffassung[1]) kaum zu *wirtschaftlichen und sozialen Spannungen* führen, denn die erforderliche *Progressivität der Substitutionen* ist, wenn man einen vernünftigen Entwicklungsrhythmus ansetzt, nicht gefährdet. Der Brennstoffverbrauch der herkömmlichen Wärmekraftwerke wird sich zwischen 1965 und 1980 mehr als verdoppeln. Dabei steht die Steinkohle vordringlich im Wettbewerb mit dem Heizöl. In dieser Zeit wird die Kernenergie den Absatz der Steinkohle kaum beeinträchtigen.
5. Die Forderung nach einer *Stabilität der Versorgung mit Energie sowohl hinsichtlich der verfügbaren Mengen als auch der Kosten* erfüllt die Kernenergie in besonderem Maße. Kernkraftwerke zeichnen sich durch eine große Betriebsautonomie aus, der Brennstoffnachschub kann für kurze Fristen unterbrochen sein. Kernkraftwerke gewährleisten andererseits eine große Stabilität in der Stromversorgung, zumal nach den bisher gewonnenen Erfahrungen technische Ausfälle kaum noch vorkommen werden.

   Andererseits ist nicht zu erwarten, daß die Stromerzeugungskosten eines Kernkraftwerks während seiner Betriebszeit steigen werden. Im Zuge des Ersatzes der abgebrannten Cores durch technisch verbesserte Cores werden sie vielmehr fallen; die im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke können damit — anders als herkömmliche Wärmekraftwerke — aus der technischen Entwicklung Nutzen ziehen.
6. Es besteht schließlich kein Anlaß anzunehmen, daß die Entwicklung der Kernenergie die *freie Wahl der Verbraucher behindern,* den *Wettbewerb zwischen den*

[1]) Stellungnahme des Wirtschafts- und Sozialausschusses zu dem „Ersten hinweisenden Programm für die Europäische Atomgemeinschaft" vom 24. Februar 1966 — Amtsblatt der Gemeinschaften vom 18. Februar 1966.

einzelnen Energieträgern verzerren oder mit den *allgemein anerkannten Grundsätzen der Wirtschaftspolitik in Widerspruch* stehen wird. Diese für die Ausrichtung der Energiepolitik wichtigen Feststellungen bedürfen einer Erläuterung:

Eine Verzerrung des Wettbewerbs könnte dann vorliegen, wenn eine bereits in vollem industriellen Einsatz stehende Sparte der Energieerzeugung zum Nachteil des Einsatzes anderer Energiearten aus öffentlichen Mitteln gefördert würde. Bei dem gegenwärtig bereits erreichten Entwicklungsstand würde das auf Reaktoren erprobten Typs zutreffen. Die Hilfen, die diesen Reaktoren noch gewährt werden, laufen aber aus. Sie werden im übrigen nur für solche Objekte gewährt, die noch den Charakter eines Prototyps aufweisen, d. h. das Stadium der vollen industriellen Reife noch nicht erreicht haben.

Nach wie vor werden aber noch öffentliche Mittel zur Entwicklung von fortgeschrittenen Konvertern und von Brut-Reaktoren eingesetzt. Bis zur industriellen Reife haben diese Reaktoren noch einen mehr oder minder langen Weg zurückzulegen; sie werden kaum vor 1980 bedeutend zur Stromerzeugung beitragen. Ihre Förderung ist somit für die zur Zeit um ihren Absatz kämpfenden übrigen Energien, insbesondere die Steinkohle, ohne nachteilige Folgen. Die Förderung dieser Reaktortypen ist andererseits aber gerechtfertigt, weil die zu erwartende Ersparnis aus dem Betrieb dieser Reaktoren die Summe der Mittel, die noch aufgewendet werden müssen, um diese Techniken zur industriellen Reife zu bringen, um ein Vielfaches übersteigt.

Die Kernstromerzeugung ist, wie gezeigt wurde, der herkömmlichen Stromerzeugung in vielfacher Hinsicht wirtschaftlich überlegen. Damit stellt sich die Frage, in welcher Weise die *Kernenergie* in die *Energiewirtschaft* ökonomisch sinnvoll eingegliedert werden soll, insbesondere, was zu geschehen hat, damit die herkömmliche Energieerzeugung durch das Zutreten der Kernenergie nicht in einem Maße beeinträchtigt wird, das wirtschaftliche und soziale Spannungen auslöst.

Hierfür bieten sich zwei weltweit und vielfältig erprobte *Lösungen* an: die Orientierung nach einem quantitativen Modell oder die Schaffung entsprechender Marktbedingungen:

1. Die dirigistische *Methode des direkten Eingriffs* in den Energiemarkt, etwa dadurch, daß der Einsatz der verschiedenen Primärenergien für die Stromerzeugung durch den Staat gelenkt wird, findet insbesondere in den Ländern Anwendung, in welchen sowohl der Kohlebergbau wie auch die Elektrizitätswirtschaft verstaatlicht sind. In der Bundesrepublik, deren Wirtschaftspolitik auch auf dem Energiesektor wettbewerblich orientiert ist, würden Direkteingriffe der geschilderten Art einem Herausnehmen der Elektrizitätswirtschaft aus der Wettbewerbswirtschaft gleichkommen und, sofern diese Eingriffe tief-

greifend sind, mit der wirtschaftlichen Generalkonzeption kaum zu vereinbaren sein.

2. Die Alternative besteht darin, *Marktbedingungen auf dem Gebiet der Energiewirtschaft* zu schaffen, die sichern, daß die heimische Steinkohle auch in Zukunft in den wirtschaftspolitisch erwünschten — steigenden — Mengen für die Stromerzeugung eingesetzt wird. Dazu bedarf es eines Ausbaus der bereits bestehenden Systeme der indirekten Eingriffe, insbesondere der *allgemeinen Beihilfen* für den Steinkohlenbergbau und die bergbauliche Sozialversicherung, der *besonderen Beihilfen* zur Förderung des Einsatzes der Steinkohle für die Elektrizitätserzeugung und der *Schutzmaßnahmen* zur Verringerung des Aufkommens und des Einsatzes von Konkurrenzenergien. Dabei muß man sich aber über die Größenordnungen klar sein: die Substitution 1 t zur Elektrizitätserzeugung eingesetzter oder einzusetzender Steinkohle durch Kernenergie führt zu einer Einsparung von zur Zeit wenigstens 25 DM. Diese Marge wird sich erhöhen. Es ist ein Leichtes, auszurechnen, auf welche Einsparungen in der Stromerzeugung verzichtet wird, wenn die Elektrizitätswirtschaft veranlaßt wird, Jahr für Jahr um jeweils mehrere Millionen Tonnen gesteigerte Mengen an Steinkohle zu verstromen.

Eine in sich ausgewogene Energiepolitik muß daher zu einer Synthese führen zwischen der Forderung nach möglichst billiger und auch sicherer Energie, wie sie durch den Einsatz der Kernenergie erreicht werden kann, und der Forderung, wirtschaftliche und soziale Spannungen im Bereich des Kohlenbergbaus zu vermeiden.

Nachtrag

Während der Vorbereitung des Drucks dieser Arbeit ist in den Vereinigten Staaten die Entscheidung über den Bau eines Kernkraftwerks gefallen, die für die Zukunft wohl von der gleichen Tragweite sein wird, wie es die vor einigen Jahren getroffene Entscheidung über den Bau des Kernkraftwerks Oyster Creek war. Es handelt sich um den Kontrakt, den die Tennessee Valley Authority (TVA) mit der General Electric über den Bau eines bei Browns Ferry zu errichtenden Kernkraftwerks mit einer Gesamtleistung von 2200 MWe abgeschlossen hat. Für das Siedewasserkraftwerk, das aus zwei Einheiten von je 1100 MWe bestehen wird, rechnet man Gesamtstromerzeugungskosten in Höhe von 0,95 Pf/kWh. Diese Stromerzeugungskosten sind verglichen worden mit den Stromerzeugungskosten eines auf den Kohlevorkommen des Tennessee Valley zu errichtenden Kohlekraftwerks gleicher Leistung. Hierfür wurde ein Betrag von 1,13 Pf/kWh errechnet. Sensationell ist, daß das Tennessee Valley die Region der Vereinigten Staaten mit den niedrigsten Kohlepreisen ist, gleichwohl aber ein Kernkraftwerk noch billigeren Strom zu erzeugen vermag. Der Äquivalenzpreis, d. h. der Preis der Kohle frei Kraftwerk, zu welchem Kostengleichheit zwischen Kohlestrom und Atomstrom bestehen würde, beträgt nach den von der Tennessee Valley Authority veröffentlichten Daten 21 DM/t Steinkohle.

Von einem für die zukünftige Entwicklung der Kernenergie wohl ebenso großen Interesse ist die bei einem Vortrag vor der amerikanischen National Association of Manufacturers am 7. Juni 1966 getroffene Feststellung des Präsidenten der amerikanischen Atomenergiekommission, Mr. Glenn T. Seaborg, man rechne nunmehr damit, daß in den Vereinigten Staaten 1980 eine Kernenergieleistung zwischen 80 000 und 110 000 MWe installiert sein werde. Es ist hinzuzufügen, daß zu diesem Zeitpunkt die ökonomischen Daten des von der Tennessee Valley Authority geplanten Kraftwerkes noch nicht bekannt waren. Amerikanische Fachleute neigen jetzt der Auffassung zu, daß die gesamte 1980 dort installierte Leistung auch noch höher als 110 000 MWe sein könnte, da die Kernenergie nun offenbar billiger zu werden verspricht als jede andere elektrische Energie. Demgegenüber ist festzustellen, daß die noch im Jahr 1962 für das Jahr 1980 gemachte Voraussage auf 40 000 MWe lautete. In der Tat hat die Kernenergie in den letzten Monaten in den Vereinigten Staaten einen Durchbruch erzielt, der alle bisherigen

Schätzungen hinfällig macht. Im vergangenen Jahr sind in den Vereinigten Staaten etwa 5000 MWe „kontraktiert" worden. Die Kontrakte über den Bau von Kernkraftwerken in der Zeit zwischen dem 1. Januar und dem 31. Mai 1966 werden auf 4280 MWe beziffert. Hinzu kommt der am 20. Juni 1966 beschlossene Bau des erwähnten Kernkraftwerks der Tennessee Valley Authority mit einer Leistung von 2200 MWe. Fachleute erwarten, daß in den Vereinigten Staaten im ganzen Jahr 1966 über den Bau von Kernkraftwerken mit einer Gesamtleistung zwischen 12 000 und 16 000 MWe entschieden wird, ja sogar 20 000 MWe werden für möglich gehalten. Angesichts dieser Entwicklung nimmt sich die für die Europäische Atomgemeinschaft für das Jahr 1980 gemachte Voraussage von insgesamt 40 000 MWe recht bescheiden aus.

Brüssel, 5. Juli 1966 Hans Michaelis

Schriftenreihe des Energiewirtschaftlichen Instituts

Herausgegeben vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität Köln

Band XIII Hans Michaelis. *Atomenergie heute*
1966. 76 Seiten, 7 Abbildungen, 20 Tabellen, Gr. -8°, brosch.

Band XII Peter Marcus. *Der ökonomische Inhalt der linearen Planungsrechnung* dargestellt am Beispiel der Energiewirtschaft 1966. In Vorbereitung

Band XI Theodor Wessels. *Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Energiekosten*
1966. 78 Seiten, 2 Abbildungen, 23 Tabellen, Gr. -8°, brosch. DM 15,—

Band X Albert Gilsbach. *Die Konzeption der französischen Energiepolitik*
1965. 234 Seiten, 24 Tabellen, Gr. -8°, brosch. DM 28,—

Band IX Klaus Dieter Fischer. *Struktur und Beeinflussungsfaktoren der Stromerzeugungskosten in Kernkraftwerken*
1964. 168 Seiten, 15 Abbildungen, 49 Tabellen, Gr. -8°, brosch. DM 30,—

Band VIII Egon Weber. *Die Gaserzeugung aus Mineralölprodukten als Entwicklungsproblem der deutschen Ortsgaswirtschaft*
1964. 200 Seiten, 18 Abbildungen, 19 Tabellen, 17 Zusammenstellungen, Gr. -8°, brosch. DM 30,—

Band VII Ernst Böke. *Die fiskalische Belastung der Energieträger*
1963. 203 Seiten, 2 Abbildungen, 66 Tabellen, Gr. -8°, brosch. DM 30,—

Band VI Gerhard Otto. *Die Abschreibung in der Elektrizitätswirtschaft*
1963. 186 Seiten, 15 Abbildungen, Gr. -8°, brosch. DM 25,—

Band V Franz-Josef Rumler. *Wirtschaftliche Probleme bei der Aufstellung von Energiebilanzen bei der Vorausschätzung des künftigen Energiebedarfs*
1960. 159 Seiten, Gr. -8°, brosch. DM 20,—

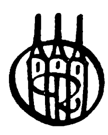
Band IV Kurt Bergmann. *Unternehmungsformen in der kommunalen Energieversorgung*
1957. 185 Seiten, Gr. -8°, brosch. DM 14,—

Band III Hans Plett. *Ökonometrische Nachfrageuntersuchungen in der Energiewirtschaft*
Möglichkeiten und Grenzen. Mit Beispielen der Anwendung
1954. 206 Seiten, 20 Abbildungen, Gr. -8°, brosch. DM 25,—

Band II Winfried Schmitz. *Das Recht der Energiewirtschaft im Ausland* (Westeuropa)
1953. 277 Seiten, Gr. -8°, brosch. DM 20,—

Band I Rolf Didden. *Konzessionsabgaben der Energie- und Wasserversorgungsunternehmen*
1952. 425 Seiten, Gr. -8°, brosch. DM 19,60

R. OLDENBOURG VERLAG MÜNCHEN



IAEA

International Atomic Energy Agency, Wien

Die Internationale Atomenergie-Organisation ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen. Ihr Ziel ist es, „in der ganzen Welt den Beitrag der Atomenergie zum Frieden zu steigern“. Zu diesem Zweck veröffentlicht sie wissenschaftlich-technische Literatur.

Fachgebiete aus dem Katalog der IAEA:

Biologie, Medizin und Landwirtschaft
Biology, Medicine and Agriculture

Strahlenschutz, Sicherheitsvorschriften und Beseitigung von Atommüll
Health, Safety and Waste Disposal

Physik, Plasmaphysik und Elektronik
Physics, Plasma Physics and Electronics

Chemie, Geologie und Rohstoffe
Chemistry, Geology and Raw Materials

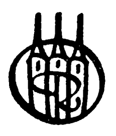
Reaktorphysik und Reaktoren
Reactor Physics and Reactors

Verwendung von Radioisotopen und Strahlen in der Industrie
Industrial Applications

Wirtschaft
Economics

Recht
Law

Auslieferung für die Bundesrepublik Deutschland



R. OLDENBOURG VERLAG MÜNCHEN